

Diss. ⁴
5440.
6.

uf
uch
de
n.
toe.
wege
hen
der
iore

Diss.

Steffahny

5440 (6)

4°

Sonderabdruck aus Eckhard's Beiträgen zur Anatomie und Physiologie, Band XII.

Zur Untersuchungsmethode
über die
Topographie der motorischen Innervationswege im
Rückenmark der Säugethiere,
mit besonderer Rücksicht auf das Halsmark des Kaninchens.

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doctorwürde
der
Hohen medicinischen Facultät
der
Großherzoglich Hessischen Ludewigs-Universität
zu Giessen

vorgelegt von
Emil Steffahny,
approbirtem Arzt.

Giessen.
1887.

10 B

Die Untersuchungen über die Wege, welche die willkürlich-motorische Innervation im Rückenmark einhält, gehören ganz verschiedenen Gebieten der anatomisch-physiologischen Forschung an.

Zuerst waren es naturgemäfs die Physiologen, welche durch das Experiment über diese Wege Aufschluß zu erlangen suchten. Die Methode, welche sie anwendeten, bestand in partiellen Durchschneidungen des Markes, verbunden mit der Beobachtung der willkürlichen Bewegung von Extremitäten des Versuchsthieres. Aus dem Ausbleiben oder dem Weiterbestehen der vorher vorhandenen Bewegungen wurde geschlossen, ob die Bahnen für dieselben an der betreffenden Stelle von dem Schnitt getroffen oder nicht getroffen waren. Die vielen Versuchsreihen, welche auf diese Weise angestellt wurden, haben, besonders die der älteren Periode, zu sehr verschiedenen Resultaten geführt. Wer sich in dem Labyrinth derselben zurecht finden will, wird den literarischen Faden dazu in der Hauptsache zu suchen haben in Eckhard's¹⁾ Abhandlung über das Gehirn und Rückenmark. Diese Methode ist bis in die neueste Zeit hinein viel geübt und, wie die Arbeiten der Schüler Ludwig's : Miescher und Woroschiloff zeigen, je mehr geübt, desto mehr vervollkommnet worden. Sie ist es auch, durch die wir schliefslich den gröfsten Theil der Einsicht, welche wir bis jetzt von den Innervations-

¹⁾ C. Eckhard. Physiologie des Rückenmarks und Gehirns. In Hermann's Handbuch der Physiologie. II. Bd. II. Th. Leipzig 1879.

wegen im Rückenmark besitzen, erlangt haben. An sie schlossen sich die an Menschen beobachteten Fälle von Rückenmarks-Verletzungen eng an. Doch sind unter diesen Fällen leider nur wenige vorhanden, bei denen auch die Section Aufschluß über die Ausdehnung der Verletzung ergab. Die vorzüglichsten derselben sind die drei von Longet¹⁾, von W. Müller²⁾ und von R. Weifs³⁾ beschriebenen.

Eine zweite Art zur Erforschung der motorischen Leitungswege im Rückenmark bestand in der electricischen Reizung der Oberfläche oder des Querschnittes des Markes an verschiedenen Punkten. Abgesehen davon, daß solche Reizungen keinen sicheren Aufschluß gaben über die *willkürlich*-motorischen Bahnen, erleidet der Werth dieser Methode seine hauptsächlichste Einbuße durch die noch offene Frage von der directen Erregbarkeit des Rückenmarkes. Wer in dem Streit, der hierüber zur Zeit noch heftig unter den Physiologen tobt, auf der Seite der Leugner steht, wird dieser Methode überhaupt keine Berechtigung zuerkennen. Aber auch, wer die Erregbarkeit des Rückenmarkes für erwiesen hält, wozu nach den Untersuchungen von Fick und Engelken⁴⁾ die Mehrzahl neigt, wird sich von den Resultaten dieser Methode vorläufig keinen

¹⁾ F. A. Longet. Recherches expérimentales et pathologiques sur les propriétés et les fonctions des faisceaux de la moelle épinière etc. (Extrait des Archives générales de Médecine.) Paris 1841. S. 97.

²⁾ W. Müller. Beiträge zur pathologischen und physiologischen Anatomie des menschlichen Rückenmarks. Zur Feier etc. Leipzig 1871. S. 3.

³⁾ R. Weifs. Beiträge zur Casuistik etc. Arch. f. klin. Chir. Von Langenbeck. XXI. Bd. 1877. S. 226.

⁴⁾ H. Engelken. Ueber die Empfindlichkeit des Rückenmarkes gegen electricische Reizung. Arch. f. Anatomie, Physiologie etc. Von Reichert und Du Bois-Reymond. 1867. S. 198; und : A. Fick. Ueber die Reizbarkeit der vorderen Rückenmarkstränge. Arch. f. d. ges. Physiologie etc. Von Pflüger. II. Bd. Bonn 1869. S. 414.

großen Gewinn versprechen; denn es ist bis jetzt noch nicht festgestellt, ob und unter welchen Bedingungen bei Reizung eines begrenzten Marktheiles immer dieselben Bewegungen erfolgen. Die reizbaren Elemente liegen hier so dicht gedrängt, daß der Einwurf, es könnte sich der Reiz, ganz besonders bei auch nur wenig veränderter Stromstärke, das eine Mal auf diese, das andere Mal auf andere Elemente der Nachbarschaft verbreiten, erst experimentell widerlegt werden müßte.

Diese beiden oben skizzirten Methoden blieben lange Zeit hindurch die einzigen, welche man anwendete.

Dann wurden 1851 pathologisch-anatomische Erfahrungen gemacht, welche den Grund dafür abgaben, daß in der Folge die Frage der Leitungsbahnen auch von dieser Seite her, durch Beobachtung, wie durch das Experiment, zu lösen gesucht wurde. Es fand nämlich Türck, daß nach Erkrankungen von Hirn- oder Rückenmarkstheilen sich in dem Querschnitt des Markes graue Degenerationen vorfinden. Er verfolgte die degenerirten Partien auf- und abwärts und sah, daß dieselben fortlaufende Stränge bilden, welche dieselben Wege einhalten, wie die von der Anatomie bekannten Stränge des Markes. Türck selbst erkannte vollkommen den Werth, welchen diese Beobachtungen für die weitere Erkenntniß der *anatomischen* Topographie des Markes hatten. Aber er fand außerdem, daß gewisse Stränge nur in bestimmter Richtung, entweder nach oben oder nach unten hin, degeneriren; und er bemerkt, daß dies unerklärlich wäre, „wenn man die Voraussetzung von der Identität dieser Richtungen mit jenen der normalen Leitung nicht gelten lassen wollte.“ In der That stimmen die Wege dieser Degeneration mit den Grundsätzen der centrifugalen und centripetalen Leitung überein, und so war die Meinung Türck's, daß man durch das Studium dieser sogenannten secundären Degeneration auch in die *physiologische* Topographie des Rückenmarkes einen weiteren Einblick bekommen werde, nicht unge-

rechtfertigt. Seine Beobachtungen wurden von späteren Forschern bestätigt und erweitert; und schliesslich gelang es auch, bei Thieren durch Verletzung von Hirn- oder Rückenmarkstheilen willkürlich ab- oder aufsteigende Degenerationen zu erzeugen und so das Material für diese Art der Rückenmarksforschung in beliebiger Menge herbeizuschaffen.

Unterdessen war durch Flechsig auch von entwicklungsgeschichtlicher Seite her der Angriff auf das Rückenmark eröffnet worden. Flechsig ging von der Beobachtung aus, daß die im Rückenmark vorhandenen Fasersysteme in ihrer Entwicklung nicht mit einander Schritt halten, sondern zur selben Zeit auf verschiedener Entwicklungsstufe stehen, während die zu *einem* Fasersystem gehörenden Fasern in dem gleichen Entwicklungsstadium sich befinden. Diese verschiedenen Entwicklungsstufen geben sich zu erkennen durch das Fehlen oder Vorhandensein der Markscheiden. Es kann ein ganzes Fasersystem in allen seinen Fasern die Markscheiden zeigen, einem anliegenden können sie noch vollständig fehlen, sodaß diese beiden Systeme oder Bahnen durch die verschiedene Entwicklungsperiode, in welcher sie sich zur gleichen Zeit befinden, als verschieden von einander sich kennzeichnen. Flechsig hat diese Untersuchungen, deren Grundmethode in Obigem gezeichnet ist, an einer Reihe menschlicher Embryonen und — meist neugeborener — Kinder vorgenommen. Er ist zu Resultaten gelangt, die zum Theil mit den durch Beobachtung der secundären Degeneration gefundenen in Uebereinstimmung sind, zum Theil neue Bahnen kennen gelehrt haben, zum Theil auch Bekanntes unter neuen Gesichtspunkten betrachten lassen.

Zuletzt sei noch die neueste Methode der Erforschung der Bahnen in Gehirn und Rückenmark erwähnt, welche von v. Gudden herrührt, und die man die Exstirpationsmethode genannt hat. v. Gudden zerstörte bei neugeborenen Thieren Theile des Gehirns oder des peripheren Nervensystems und erzeugte dadurch eine *Entwicklungshemmung* der mit

den zerstörten Partien zusammenhängenden Leitungsbahnen, sowie Atrophie von zugehörigen Centren.

Es liegt für diese Arbeit keine Veranlassung vor, das, was durch die oben kurz erwähnten Methoden gewonnen worden ist, näher zu erörtern, insbesondere auch nicht, wie viel durch jede dieser Methoden die *physiologische* Erkenntniß gefördert werden kann. Was von den bisher gewonnenen Resultaten vergleichungsweise hier anzuführen nothwendig wird, soll am geeigneten Orte seine Stelle finden.

Es sollen vielmehr im Folgenden den oben angeführten Methoden eine andere noch nicht ausgiebig versuchte und noch gar nicht kritisch gewürdigte angereiht und einige durch sie erlangte Resultate mitgetheilt werden. Der Hauptnachdruck soll dabei aber weniger auf die im ersten Anlauf gewonnenen Ergebnisse, als vielmehr auf eine kritische Würdigung der Ausdehnung der Anwendung dieser Versuche gelegt sein.

Im Jahre 1879, einige Zeit nach der Entdeckung der motorischen Rindenfelder, wurde von Eckhard ein Fingerzeig gegeben, wie die Klärung der Leitungsfrage von rein physiologischer Seite aus auch noch auf einem anderen Wege vielleicht möglich sei. Eckhard¹⁾ machte den Vorschlag, an Säugethieren Durchschneidungsversuche in verschiedenen Höhen des Rückenmarkes in der Art auszuführen, daß man vor und nach der partiellen Durchschneidung ein entgegengesetztes motorisches Rindenfeld einer Extremität electricisch reizt; man könne dann aus der Verschiedenheit der Reizungseffecte vor und nach der Schnittführung, verbunden mit dem Befunde der Schnittstellen, auf den Verlauf der Wege einen Schluß ziehen. Nebenbei sei bemerkt, daß schon früher, zu einer Zeit, in welcher die motorischen Rindenfelder noch unbekannt waren,

¹⁾ C. Eckhard, a. a. O. S. 148 und 166.

Volkmann²⁾ es versucht hat, nach partieller Durchschneidung des Rückenmarkes durch oberhalb desselben gesetzte electriche Reizungen die Leitungsfrage zu klären. Er trug bei einem im Winterschlaf befindlichen Igel ein 3 cm langes Stück der Substanz des Halsmarkes so weit ab, daß nur noch geringe Theile der Vorderstränge die Verbindung zwischen dem Gehirn und Rückenmark bildeten, leitete dann einen Strom durch das verlängerte Mark und beobachtete die dabei auftretenden Bewegungen des Thieres. Doch ist dieser Volkmann'sche Versuch, der übrigens, wie es scheint, keine Nachfolger erhielt, seiner Anlage nach mehr in die Kategorie der directen Rückenmarksreizungen zu setzen.

Dem Gedanken Eckhard's entsprangen zuerst Versuche von Glicky²⁾ und von Balighian³⁾, welche aber nicht die Wege im Rückenmark, sondern diejenigen in Hirnschenkelfuß und Brücke, sowie die genauere Abgrenzung der Kreuzungsstrecke zum Vorwurf hatten. Als erste Versuche in dieser Art sind sie selbstverständlich unvollkommen, insbesondere deshalb, weil zur Zeit ihrer Anstellung die Thatsache, daß man bei Reizung motorischer Rindenfelder auch Bewegungen in Gliedern *derselben* Seite erhalten kann, wenn auch schon gelegentlich bemerkt, doch noch nicht genügend auf ihre Ursachen hin gewürdigt war. Auf die eine oder die andere Einzelheit jener Arbeiten ist weiter unten zurückzukommen.

Es ist bis jetzt noch nicht eingehend versucht worden, nach dieser

¹⁾ A. W. Volkman. Nervenphysiologie. In : Handwörterbuch der Physiologie etc. von R. Wagner. II. Bd. 1844. S. 552.

²⁾ W. Glicky. Ueber die Wege, auf denen die durch electriche Reizung der Großhirnrinde erregten motorischen Thätigkeiten durch das Gehirn hindurch fortgeleitet werden. Eckhard's Beiträge zur Anatomie und Physiologie. VII. Bd. Gießen 1876. S. 177.

³⁾ J. Balighian. Beiträge zur Lehre von der Kreuzung der motorischen Innervationswege im Cerebrospinalsystem. Ebendaselbst. VIII. Bd. 1879. S. 193.

Methode den Verlauf der motorischen Innervationswege im Rückenmark selbst zu verfolgen, wenn auch, worauf ich noch zurückkomme, in neuester Zeit von Lewaschew¹⁾, bei Versuchen über die gleichseitige Leitung, an Hunden Beobachtungen über die Effecte der Reizung der motorischen Rindenfelder nach *halbseitiger* Durchschneidung des Markes gemacht worden sind.

Auf Anregung und mit Unterstützung des Herrn Geheimrath Eckhard, meines verehrten Chefs, welchem ich für Beides hiermit großen Dank sage, habe ich versucht, diese Methode in einer Reihe von Versuchen etwas auszuarbeiten und von den Resultaten, welche für diese Wege im Rückenmark aus ihr gezogen werden können, einige zu gewinnen.

Zur Operationsmethode.

Zu allen Versuchen wurde das Kaninchen gebraucht. Es wäre vortheilhaft gewesen, den Hund zum Object zu nehmen, wegen der größeren Anzahl und der schärferen Abgrenzung der Rindenfelder bei diesem Thier, und auch wegen des in technischer Hinsicht günstigeren, d. h. größeren Rückenmarksquerschnittes. Da aber vorausszusehen war, daß die Untersuchung viel Material erfordern würde, vieles davon sogar weniger dem Resultat, als vielmehr der bloßen Uebung zu Gute kommen würde, hielt ich mich vorläufig an das weniger kostbare Kaninchen; und als es dann schien, daß die Versuche an diesem auch zu brauchbaren Resultaten führen könnten, bin ich in der ganzen Versuchsreihe bei dieser Thierart geblieben.

¹⁾ Lewaschew. Ueber die Leitung der Erregung von den Großhirnhemisphären zu den Extremitäten. Archiv für die gesammte Physiologie etc. Von Pflüger. XXXVI. Bd. Bonn 1885. S. 284.

Die motorischen Rindenfelder des Kaninchens sind, wie bekannt, in geringer Anzahl vorhanden und nicht scharf abgegrenzt. Auch läßt sich ihre Lage wegen der Windungslosigkeit der Oberfläche des Kaninchenhirns durch eine Beschreibung nicht präcisiren. Wenn man als Rindenfeld für die vordere Extremität diejenige Stelle der Hirnoberfläche ansieht, deren Reizung mit *schwächsten* Strömen eine Bewegung der entgegengesetzten vorderen Extremität auslöst, so liegt dieses beim Kaninchen auf der vorderen Hälfte der Hirnoberfläche in kleiner Ausdehnung nahe der Mantelspalte, zu beiden Seiten eines von außen nach innen verlaufenden Pial-Gefäßes; doch ist dieses letztere, wie schon Braun¹⁾ angiebt und ich mich selbst öfter überzeugt habe, in seiner Lage nicht constant, da manchmal es selbst verlagert ist, manchmal aber statt dieses einen mehrere Gefäße in der entsprechenden Gegend verlaufen.

Studirt man die Bewegungen, welche bei der electricen Reizung des motorischen Rindenfeldes für die vordere Extremität des Kaninchens auftreten, so erkennt man bald, daß die am meisten in den Vordergrund tretende und am constantesten erscheinende Bewegung in einer Adduction dieser Extremität besteht. Es sollte deshalb diese Bewegung bei den Versuchen im Auge behalten und aus ihrem Verhalten *vor* und *nach* theilweiser Durchschneidung der gleichseitigen Rückenmarkshälfte bei Reizung des zugehörigen Rindenfeldes auf den Verlauf der Bahnen für diese Adduction geschlossen werden. Es brauchte aber einer nicht viel längeren Beobachtung, um zu bemerken, daß diese Adduction, wenn sie auch immer eine Adduction blieb, doch in allen Versuchen, ja bisweilen bei verschiedenen gleichwerthigen Reizungen in demselben Versuch, nicht von derselben Form war; auch erschien sie oft nicht rein, sondern mit

¹⁾ H. Braun. Beiträge zur Frage über die electriche Erregbarkeit des Großhirns. Eckhard's Beiträge etc. VII. Bd. 1876. S. 135.

anderen Bewegungen, z. B. Extension der Zehen, verbunden. Reizungen *nach* erfolgter Durchschneidung ergaben, bisweilen bei der gleichen, meist bei größerer Stromstärke, ebenfalls eine Adduction, aber in anderer Form oder von anderer Werthe, als *vor* der Durchschneidung, oder eine Verstärkung einer schon vorher miterschiedenen Bewegung, oder auch das Auftreten ganz neuer Bewegungen — übrigens Alles Erscheinungen, die einer näheren Untersuchung wohl werth wären. Bei der Ungenauigkeit, die in Folge dessen den Beobachtungen anhaftete, blieb es schwer, die Werthe der vor und der nach der Durchschneidung auftretenden Bewegungen richtig gegen einander abzuschätzen und den Effect der Durchschneidung mit Präcision zu beurtheilen.

Es war deshalb wünschenswerth, die Frage einfacher zu stellen, am besten für die Bewegungen nur eines einzigen Muskels. Die auf diesen Punkt hin gerichteten Untersuchungen ergaben, daß die beiden dicht neben einander gelegenen musculi extensor digitorum communis und extensor carpi internus die zur Beobachtung geeignetsten sind. Denn sie lassen sich bei der zur Reizung des Gehirns bequemen Bauchlage des Thieres leicht bloslegen und bei der Reizung selbst leicht controliren. Was aber für mich die Hauptsache war, sie gehören nach meinen Erfahrungen zu denjenigen Muskeln der Vorderextremität, welche sich am *frühesten* contrahiren, wenn man die Reizungen des Gehirns mit allmählich wachsenden Inductionsströmen vornimmt und das ganze motorische Rindenfeld für diese Extremität mit den Electroden abtastet. In den meisten Fällen begannen *beide* Muskeln bei derselben Stromstärke sich zu contrahiren, einige Male nur zeigte sich Contraction *eines* von ihnen, und zwar dieses oder jenes, während der andere bei derselben Stromstärke noch in Ruhe blieb. Eine absolut isolirte Erregung dieser Muskeln scheint übrigens für gewöhnlich nicht möglich zu sein. Welchen Punkt des Feldes ich auch reizen und wie schwach ich auch die Stromstärke nehmen

mochte, immer sah ich, wenn ich überhaupt auf diesen Punkt achtete, mit dem ersten deutlichen Auftreten der Zuckungen in diesen Muskeln, noch einige andere, und zwar auf der Beugeseite, wenn auch oft nur schwach, gleichzeitig sich bewegen. In einem Versuche wurden diese sich mitbewegenden Muskeln in ihren Sehnen durchschnitten, um sie später bestimmen zu können; und nach der Tödtung des Thieres ergab sich, daß die Contractionen außer in den mm. extensor digitorum communis und extensor carpi internus noch im flexor carpi internus und in Bäuchen des flexor digitorum communis profundus stattgefunden hatten, also gerade in den Antagonisten der beiden Extensoren.

Dieser Befund erinnert an eine Thatsache, welche Brücke¹⁾ für die willkürliche Bewegung näher beleuchtet hat. In seiner Arbeit „über willkürliche und krampfhaftige Bewegungen“ macht er die Bemerkung, daß wir bei langsamen willkürlichen Bewegungen, zur leichteren und besseren Regulirung derselben, Widerstände dadurch schaffen, „daß wir während der Arbeit auch Antagonisten der arbeitenden Muskeln in Thätigkeit setzen“. Er zieht diesen Satz aus directen Beobachtungen willkürlicher Bewegungen, hauptsächlich der Armmuskeln, des Menschen. In dem oben angeführten kleinen Versuch zeigte sich, daß diese Mitbewegung der Antagonisten auch bei der Reizung durch den faradischen Strom stattfindet; ein erstes kleines Resultat, das meine Untersuchung abwirft.

Hierzu läßt sich noch Folgendes bemerken. Hitzig und Fritsch²⁾ haben bekanntlich für die Vorderextremität des Hundes zwei verschiedene, von einander getrennte Rindenfelder gefunden; das eine für die Extension

¹⁾ E. Brücke. Ueber willkürliche und krampfhaftige Bewegungen. Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Classe. LXXV. Bd. III. Abth. 1877. S. 24.

²⁾ E. Hitzig. Untersuchungen über das Gehirn. Berlin 1874. S. 13.

und Adduction, das andere für die Flexion und Rotation. Sie haben ihre Resultate aber nicht aus der Contraction einzelner, blosgelegter Muskeln, sondern aus der resultirenden Bewegung der ganzen Extremität gewonnen. Es läßt sich nun nach dem Obigen argwöhnen, daß auch beim Hunde eine isolirte Erregung einzelner Muskeln oder zusammengehörender Muskelgruppen nicht, oder doch außerordentlich schwer stattfindet, daß vielmehr mit derselben für gewöhnlich eine, wenn auch schwächere Contraction anderer Muskeln, in einzelnen Fällen sogar der Antagonisten einhergeht. Paneth¹⁾ hat Versuche über die Rindenfelder für einzelne Muskeln der Vorderextremität des Hundes gemacht; da er aber bei jedem Versuch nur die Zuckungen eines einzigen Muskels beobachtete, so läßt sich bei ihm für die obige Frage nichts Sicheres entnehmen. Es wäre also nöthig, hierüber neue Untersuchungen anzustellen. In einigen vorläufigen Versuchen fand sich, daß beim Hunde, vom motorischen Rindenfeld der vorderen Extremität aus, am leichtesten der Flexor digitorum profundus zur Contraction zu bringen war; aber bei nur sehr wenig vergrößerter Stromstärke wurden von derselben Stelle aus zugleich mit jenem auch Extensoren erregt.

Außerdem wäre auch beim Menschen in Fällen von Rindenläsionen auf diesen Punkt zu achten.

In Folge der oben erwähnten Erfahrungen wurden die Beobachtungen auf die beiden genannten Extensoren beschränkt und die Aufgabe dahin präcisirt :

¹⁾ J. Paneth. Ueber Lage, Ausdehnung und Bedeutung der absoluten motorischen Felder auf der Hirnoberfläche des Hundes. Archiv für die gesammte Physiologie etc. Von Pflüger. XXXVII. Bd. Bonn 1885. S. 523.

Es sollen diejenigen Wege des Halsmarkes gesucht werden, in welchen die electricischen Erregungen der Großhirnrinde für die *musculi extensor digitorum communis* und *extensor carpi internus* fortgeleitet werden.

Die Reihenfolge der einzelnen bei jedem Versuche vorzunehmenden Operationen war folgende :

- 1) Partielle Eröffnung des Wirbelkanales, variabel je nach dem Ort, an welchem die Durchschneidung des Markes beabsichtigt wurde.
- 2) Blosslegung des Rindenfeldes.
- 3) Präparation der beiden Muskeln.
- 4) Reizung des Rindenfeldes.
- 5) Durchschneidung des Markes.
- 6) Reizung.
- 7) Herausnahme des Markes und Untersuchung des Schnittes.

Bei sämtlichen Versuchen wurde die Morphium-Narcose (Injection mehrerer — bis zu 7 — ccm einer 1procentigen Lösung in die Vena jugularis externa) angewendet, welche bekanntlich die Erregbarkeit der Hirnrinde nicht alterirt, wenigstens nicht vermindert. Zwar geben Bubnoff und Heidenhain¹⁾ an, daß bei ihren an morphinisirten Hunden angestellten Versuchen bei Aufsuchung der motorisch erregbaren Rindenstellen ihnen einige Male Thiere im Zustand tiefster Narcose vorgekommen sind, bei welchen auch mit starken Strömen von keiner Stelle der Hirnoberfläche aus Muskelcontractionen erzielt werden konnten. Bei meinen Versuchen an Kaninchen ist ein solcher Fall von Erregungslosig-

¹⁾ N. Bubnoff und R. Heidenhain. Ueber Erregungs- und Hemmungsvorgänge innerhalb der motorischen Hirncentren. Archiv für die gesammte Physiologie etc. Von Pflüger. XXVI. Bd. Bonn 1881. S. 167.

keit oder von starker Herabsetzung der Erregung durch die Morphinum-narcose niemals eingetreten.

Sollten am obersten Theile des Halsmarkes ausgedehnte Durchschneidungen vorgenommen werden, so wurde den obigen Acten auch die künstliche Athmung hinzugefügt.

Im Nachfolgenden sollen zuerst die einzelnen Operationsacte besprochen, dann die Versuchsprotocolle beigebracht und die aus ihnen sich ergebenden Schlüsse gezogen werden. Ich bemerke nochmals, daß bei der ganzen Untersuchung hauptsächlich die Methode, die auch durch Nebenversuche zu stützen war, einer eingehenden Prüfung unterzogen werden sollte.

Die Eröffnung des Wirbelkanales

wird zuerst vorgenommen, hauptsächlich deshalb, weil sie verhältnißmäßig viel Zeit in Anspruch nimmt, und es vortheilhaft erscheint, die Dura cerebri nicht allzu lange vor dem Beginn der Reizungen zu Tage zu legen.

Um möglichst verschiedene und sich ergänzende Durchschneidungen machen zu können, wurde manchmal die hintere, manchmal die vordere Wand des Markkanales zur Eröffnung gewählt. Die Blosslegung der Membrana obturatoria, sowie, sei es von vorn, sei es von hinten her, die der Halswirbel, bereitet bekanntlich keine Schwierigkeiten: die Membrana obturatoria läßt sich, nachdem die über ihr liegenden Muskellagen entfernt (wobei jederseits ein Gefäß zu unterbinden ist), resp. mit Haken auseinander gezogen sind, leicht mit Schabmesser und Skalpell in ihrer ganzen Ausdehnung freipräpariren; man findet sie übrigens bei verschiedenen Thieren von verschiedener Ausdehnung, bei manchen, besonders älteren, schmal und kurz, bei anderen dagegen von stattlicher Breite und Länge. Bei der Entfernung der Muskeln von den Wirbelbögen hat man

keine Gefäßunterbindung nöthig. Soll die Durchschneidung vorn geschehen, so sucht man, nachdem die Haut in der Mittellinie des Halses durchtrennt ist, die Carotis auf, zieht diese und die Trachea durch einen Gewichthaken zur Seite und läßt beide während der Fortsetzung der Operation in dieser Lage, wobei ein allzu starkes Zusammendrücken beider zu vermeiden ist; dann geht man in der Mittellinie zwischen den *mm. longi colli* ein und vollendet die Blosslegung der Wirbelkörper mit dem Schabmesser.

Ueber die Unannehmlichkeiten des jetzt folgenden Actes, der Aufbrechung des Wirbelkanales nämlich, führen schon Miescher¹⁾ und Woroschiloff²⁾, die für ihre Untersuchungen ähnliche Durchschneidungen in der Gegend des unteren Brustmarkes vorzunehmen hatten, große Klagen. Sie betreffen die Blutungen, welche dabei oft und reichlich erscheinen und offenbar aus zwei Quellen stammen. Die aus der Wirbelsubstanz selbst kommenden sind gewöhnlich nicht bedeutend und lassen sich in den meisten Fällen leicht stillen. Die gefährlicheren Blutungen, an denen das Thier zu Grunde gehen kann, sind diejenigen, welche aus den an der inneren Wand des Wirbelkanals gelegenen venösen Sinus stattfinden. Ist ein solcher Sinus einmal angerissen, so ist auch das ganze Experiment in Frage gestellt. — Ich habe mir, um die Gefahr, diese Sinus zu eröffnen, möglichst vermeiden zu können, von der Lage und der Ausdehnung derselben eine genauere Vorstellung zu verschaffen gesucht. Dies läßt sich erreichen durch Anstechen und Aufblasen eines solchen Sinus mittelst eines Tubulus nach Eröffnung des Wirbelkanales

¹⁾ F. Miescher. Zur Frage der sensiblen Leitung im Rückenmark. Berichte über die Verhandlungen der k. Sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig. Math.-phys. Cl. XXII. Bd. 1870.

²⁾ Woroschiloff. Der Verlauf der motorischen und sensiblen Bahnen durch das Lendenmark des Kaninchens. Ebendasselbst. XXVI. Bd. 1874.

von hinten her und nach Herausnahme des Markes; auf diese Weise erhält man von ihnen schon ein erträgliches Bild. Eine bessere Belehrung giebt aber die Injection dieser Blutbahnen, die sich von der Vena jugularis externa oder vom oberen Ende der interna aus leicht ausführen läßt. Man sieht nach einer solchen Injection, daß die ganze hintere Wand des Wirbelkanales frei von diesen Blutbahnen ist. Sie liegen vielmehr zu beiden Seiten desselben und greifen auch auf die vordere Wand über. Jeder derselben erstreckt sich von einem Foramen intervertebrale zum folgenden, wo er mit dem über oder unter ihm liegenden zusammenhängt. An den Endpunkten am schmalsten verbreitert er sich allmählich, immer mehr von der vorderen Wand des Wirbelkanales bedeckend, so daß in der Mitte der Wirbelhöhe beide gegenüberliegende Sinus in der Mittellinie zusammenstoßen. Die Zwischenwirbelscheibe ist ganz frei von ihnen, von der hinteren Fläche der Wirbelkörper über und unter der Wirbelscheibe aber nur ein kleiner dreieckiger Raum. Die ganze Stelle, an der man von vorn her ungestraft operiren darf, bildet also einen Rhombus, dessen eine und zwar kleinere Diagonale die Zwischenwirbelscheibe ist. Nach hinten reichen die Sinus an ihren Endpunkten, den For. intervertebral., etwas, aber nicht viel weiter hinüber, als in ihrem mittleren Theile. Der größte aller Sinus ist der oberste; er nimmt jederseits die Seitenwand des Foramen spinale atlantis ein, erstreckt sich nach vorn auf die innere Fläche der Pars condyloides ossis occipitis und reicht auch nahe an den Rand der Membrana obturatoria hinan. Im Foramen jugulare mündet er mit anderen Sinus des Schädels in die Vena jugularis interna. Außerdem schickt jeder dieser beiden obersten Sinus einen Ast zwischen Hinterhauptloch und Atlas auf die vordere Fläche des letzteren zu der zwischen den Mm. longi colli hinunterlaufenden Vena vertebralis mediana. Es darf also der Wirbelkanal von hinten her an jeder Stelle, sowohl in

der Substanz des Wirbels, wie auch im Zwischenwirbelraum eröffnet werden, nur ist in letzterer Gegend nicht ganz so weit seitlich zu gehen, wie im Wirbel selbst. Auch bei der Ablösung der Membrana obturatoria ist am Seitenrande des Foramen magnum Vorsicht geboten. Bei Eröffnung des Wirbelkanales von vorn her sind die Wirbelkörper zu vermeiden, und es steht nur der Raum zwischen ihnen nebst ihren alleruntersten und -obersten Enden zu Gebote, sodaß die von vorn angreifbare Fläche nur eine sehr beschränkte ist.

Bei der Abtragung der Wirbelbögen kommt man mit einer Knochenzange aus; nach Entfernung des Dornfortsatzes beginnt man am besten am Rande eines Bogens und erweitert die entstandene Oeffnung durch allmähliches Vorgehen nach der gewünschten Richtung hin.

Die Eröffnung von vorn her ist wegen der oben angeführten Verhältnisse und wegen der Dicke der Wirbelkörper schwieriger. Mit Zangen kommt man hier nur sehr mühsam, meist gar nicht zum Ziel. Ich versuchte die Anwendung des Thermokauters, und es läßt sich mit demselben wohl eine Oeffnung zu Stande bringen; aber das Instrument hat den Nachtheil, daß man nicht weiß, in wie weit auch das Mark durch die Glühhitze afficirt wird. Schließlich gelang mir die Durchbrechung am besten mit einem kleinen Trepan von 4 mm Kronendurchmesser. Die Zähne desselben werden etwas mit Eisenchloridlösung befeuchtet, die Spitze des Instrumentes wird in der Mittellinie auf der Grenze zweier Wirbel aufgesetzt, und unter geringem Druck die Durchbohrung bewerkstelligt. Zuletzt sind die am tiefen Rand der Oeffnung oft stehen bleibenden Knochenvorsprünge mit großer Vorsicht zu entfernen.

Nachdem die Oeffnung in befriedigender Weise angelegt und die Blutung vollständig gestillt ist, wird ein feuchtes Schwämmchen aufgelegt und über demselben die Hautwunde durch Nähte geschlossen. Der jetzt folgende Act der Operation,

die Freilegung des motorischen Rindenfeldes,

geschieht in allbekannter Weise. Man hat nicht nöthig, allzuviel von der Schädeldecke wegzunehmen, hat sich natürlich vor Verletzung des Sinus longitudinalis zu hüten und bemüht sich, die Dura intact zu erhalten; doch ist letzteres beim besten Willen bisweilen nicht ausführbar. Die Blutung ist, wenn das Thier bei guter Athmung erhalten wird, gering. Ich habe, je nachdem der Versuch es verlangte, bisweilen nur das Rindenfeld einer Seite, bisweilen beiderseits freigelegt. Ist die Blutung vollständig gestillt, so wird über einem feuchten Schwämmchen auch hier die Hautwunde vernäht. — Auch

die Präparation der mm. ext. dig. comm. und ext. carp. int.,

zu welcher jetzt geschritten wird, ist bald ausgeführt. Man durchschneidet die Haut auf der Dorsalseite der Extremität und präparirt sie zu beiden Seiten herunter; dann schlitzt man die starke Fascia antibrachii, durchschneidet die beiden Muskeln in ihren Sehnen und löst sie auf eine Strecke ihres Verlaufes von der Unterlage los. Zuletzt wird die ganze Extremität in ein feuchtwarmes Läppchen eingeschlagen. Bei der späteren Reizung werden die durchschnittenen Muskelenden, um die Contraction sicherer bemerken zu können, am besten der Quere nach über die Extremität gelegt, die Extremität des narcotisirten Thieres selbst entweder in passender Weise frei gelagert oder von einem Gehilfen an der Pfote gehalten. — Es folgt jetzt

die Reizung des motorischen Rindenfeldes bei noch unversehrtem Rückenmark.

Zur Reizung bediente ich mich in allen Fällen eines Du-Bois'schen Schlittenapparates, der von einem Bunsen'schen Element getrieben wurde. In dem ersten Theil der Versuche reizte ich das Rindenfeld durch die beim Kaninchen sehr dünne Dura hindurch; später wurden

nach Abtragung derselben die Drahtelectroden auf die Hirnoberfläche selbst aufgesetzt. In letzterem Falle werden oft die Blutungen unbequem, welche aus durchgerissenen Pialgefäßen entstehen und bald die ganze freiliegende Hirnoberfläche überlagern, sodaß sie öfter mit Schwämmchen entfernt werden müssen; doch läßt sich dies durch vorsichtiges Arbeiten oder durch Electroden, die in dünne Knöpfchen endigen, vermeiden. Es wurde mit den stets in geringem Abstände von einander aufgesetzten Electroden spitzen das ganze Rindenfeld abgetastet und dann die geringste Stromstärke aufgezeichnet, bei welcher die Reizung eine deutliche Contraction der genannten Muskeln ergab. Ich betone ausdrücklich, daß alle Notirungen, sowohl vor, wie nach der Durchschneidung, erst gemacht wurden, nachdem die Beobachtung durch mehrmaliges Wiederholen vollständig sicher gestellt war.

Zugleich sei an dieser Stelle auch die Frage nach dem Verhalten der Erregbarkeit der Großhirnoberfläche innerhalb des einzelnen Versuches erörtert.

Beiläufig bemerke ich, daß, wie Franck und Pitres ¹⁾ für den Hund gefunden haben, so auch für das Kaninchen die zur Blosslegung der Hirnoberfläche nothwendigen Eingriffe auf die Erregbarkeit derselben von keinem besonderen Einfluß zu sein scheinen. Die Stromstärken, welche in allen Versuchen nothwendig waren, um bei intactem Mark eine Zuckung der beiden Muskeln auszulösen, schwankten nur in geringen Grenzen. Ein Mal zeigte sich sogar, daß durch ein starkes Hervorquellen der Rindenfeldgegend über das Niveau der Schädelöffnung die Erregbarkeit

¹⁾ Fr. Franck et A. Pitres. Recherches expérimentales et critiques sur les convulsions épileptiformes d'origine corticale. Archives de physiologie normale et pathologique. III. Série. Tome II. Paris 1883. S. 22.

nicht gemindert wurde; doch kann dieser einzelne Fall selbstverständlich keine allgemeine Giltigkeit beanspruchen.

Für den einzelnen Versuch aber war es wichtig, zu entscheiden, ob im Verlaufe desselben von den Reizungen vor bis zu denen nach der Durchschneidung durch irgend welche auf die Hirnrinde wirkenden Momente, z. B. die öftere Wiederholung der Reizung, das längere Blosliegen u. A., eine Erregbarkeitsverminderung der Hirnoberfläche eintritt. Wäre dies der Fall, so dürfte die nach der partiellen Markdurchschneidung zur Zuckungsauslösung etwa nothwendige Stromverstärkung nicht allein auf die Durchschneidung bezogen werden.

Deshalb geschah folgender Versuch: Ueber dem linken motorischen Rindenfeld wurde die Dura blosgelegt, dann die Hautwunde vernäht und rechterseits die Präparation der beiden Muskeln des morphinisirten Thieres vorgenommen. Nach Entfernung der Naht wurden darauf über der erhaltenen Dura bei schwächsten Strömen die einzelnen Stellen des Rindenfeldes mit den Electroden abgetastet. Diese Reizungen wurden mit kurzen Unterbrechungen über 20 Minuten lang fortgesetzt, und es ergab sich, daß zur Contraction der beiden Muskeln bis zuletzt keine Vergrößerung der Stromstärke nöthig war. Es hatte also unter der schützenden Dura innerhalb der angegebenen Zeit die Erregbarkeit des Rindenfeldes sich nicht vermindert.

Bei diesem Versuch ergaben freilich nicht alle Reizungen dasselbe Resultat; meist wurden deutliche, bisweilen aber bei derselben Stromstärke keine Contraktionen beobachtet; doch hängt dies von anderen Umständen ab. Erstens muß die Dura, um die Leitung gut fortpflanzen zu können, einen gewissen Grad von Feuchtigkeit besitzen; im anderen Falle werden stärkere Ströme nöthig. Und zweitens sind die Stellen der motorischen Rindenfelder, deren Erregung bei einer gewissen Stromstärke eine Contraction ergiebt, bei demselben Thiere veränderlich, gleichviel,

ob man bei erhaltener Dura durch diese hindurch reizt, oder ob man nach Ablösung derselben die Hirnoberfläche selbst angreift. Wenn man nämlich von einer Stelle aus eine deutliche Zuckung erhalten hat und die Beobachtung wiederholen will, indem man die Electroden wieder genau auf dieselben Punkte setzt, so gelingt sie oft, wie man nicht anders erwartet, prompt mehrmals hintereinander. Oft aber läßt schon die zweite oder die dritte Reizung im Stich, die Muskeln bleiben ruhig, obgleich weder in der Stromstärke, noch in der Reizungsstelle etwas geändert ist. Tastet man dann mit den Electroden den übrigen Theil des Feldes ab, so findet man eine andere, in der Nähe liegende Stelle, die vorher unwirksam, jetzt bei derselben Stromstärke deutliche Zuckungen auslöst; dann kann auch diese Stelle unerregbar werden, und eine andere oder die frühere wieder wirksam sein. Wie bei dem eben angeführten Versuch, so wurde auch bei allen folgenden immer diese Erscheinung der Erregbarkeitsveränderung der einzelnen Hirnstellen beobachtet. Hierher gehören auch die auf S. 10 für die Bewegungen der ganzen Extremität angegebenen Beobachtungen. Bochefontaine¹⁾ bemerkt, daß diese, wie er sich ausdrückt, „Uebertragung der erregbaren Gebiete von

¹⁾ M. Bochefontaine. Note sur le déplacement des points excitables du cerveau. Archives de Physiologie normale etc. III. Serie. Tome I. Paris 1883. S. 41 u. f. Bochefontaine stellt hier zur Erklärung dieser Erscheinung folgende Theorie auf. Er sagt: es sei erwiesen, daß nicht die graue Hirnrinde selbst erregt wird, sondern die weißen darunter gelegenen Fasermassen, die sich schließlich in der Hirnrinde ausbreiten. Er nimmt nun an, daß solch eine weiße die Erregbarkeit leitende Faser selbst wieder in Fasern getheilt an verschiedenen Punkten der grauen Substanz sich einsetzt, daß diese letzten Endigungen aber nicht zu gleicher Zeit gleichmäßig fungiren, sondern daß die einen in Activität sind, während die Erregbarkeit der anderen zu dieser Zeit eine latente ist. Die Erregbarkeit der ersteren kann, wie das Experiment zeigt, für einige Zeit durch den electrischen Strom aufgehoben werden, und es treten die anderen früher in ihrer Erregbarkeit latenten Fasern sofort in Function.

einer Region der Hirnoberfläche auf eine andere“ für die Bewegung der ganzen Pfote von Vulpian bei chloralisirten Hunden gesehen wurde, und zwar trat sie im Laufe von $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Stunde auf. Bei meinen Versuchen zeigte sie sich innerhalb sehr kurzer, nach Secunden zu bemessender Zeiträume. Später ist diese Erregbarkeitsveränderung von Couty¹⁾ an nicht narcotisirten Hunden und Affen, und neuerdings von Paneth²⁾ an morphinisirten Hunden beobachtet worden.

In den späteren Versuchen wurde die Reizung durch die Dura hindurch verlassen, letztere vielmehr abgetragen und die Hirnoberfläche direct gereizt. An diesem Orte sei bemerkt, daß ich in allen Versuchen, sei es bei der Abtragung der Dura, sei es bei irgend einem sonstigen Angriff auf dieselbe, nichts von einer besonders hervorragenden Empfindlichkeit dieser Haut bemerkt habe, eine Erfahrung, die schon Braun³⁾ sogar für das nicht narcotisirte Kaninchen, entgegen früheren Autoren, gemacht hat. In wieweit die Hirnoberfläche, wenn sie von der schützenden Dura entblößt ist, innerhalb des Versuches eine Veränderung ihrer Erregbarkeit erleidet, darüber habe ich kein dem angeführten analoges Experiment angestellt, weil ich im Laufe der Versuche in der Beobachtung der gleichseitigen Zuckung ein anderes Mittel zur Controlirung dieses Punktes erhielt.

Es ist jetzt eine bekannte Thatsache, daß bei Reizung eines motorischen Rindenfeldes nicht nur die Muskeln der entgegengesetzten, sondern auch diejenigen der gleichen Seite in Contraction gerathen, und zwar die letzteren im Allgemeinen bei nicht viel größeren Stromstärken als die

¹⁾ Couty. Sur le cerveau moteur. Ebendasselbst. III. Série. Tome II. 1883. S. 267.

²⁾ l. c. S. 555.

³⁾ l. c. S. 130.

ersteren. Wenn nun nach der Läsion einer Markhälfte bei Reizung des entgegengesetzten Rindenfeldes die diesem Feld gleichseitigen Muskeln bei gleichem oder nahezu gleichem Rollenabstand zucken, wie vor derselben, so ist offenbar keine nennenswerthe Erregbarkeitsveränderung der Hirnoberfläche eingetreten.

Ich kehre zur Beschreibung der einzelnen Operationsacte zurück. Auf die eben besprochene Reizung des motorischen Rindenfeldes folgt

die partielle Durchschneidung des Halsmarkes.

Dieselbe ist der technisch bei Weitem schwierigste Theil des ganzen Versuches; die Unruhe des Thieres, die geringe Ausdehnung der Wirbelöffnung, der kleine Rückenmarksquerschnitt, die eigenthümliche Consistenz des Markes und die nahe Gefahr übergroßer Blutungen sind die hauptsächlichsten dafür in Betracht kommenden Factoren. Partielle Durchschneidungen des Markes in verschiedenen Höhen sind, hauptsächlich zur Erforschung der Kreuzung und der Lagerung der Leitungswege, von vielen Experimentatoren vorgenommen worden. Und wenn die Resultate scheinbar gleichartiger Durchschneidungen oft so widersprechend ausfielen, so ist der Grund dafür wohl hauptsächlich in der mehr oder weniger sorgfältigen und geschickten Ausführung der Durchschneidung und Interpretation des Schnittes zu suchen.

In neuerer Zeit ist die Technik der Rückenmarksdurchschneidung durch Miescher und Woroschiloff zu einem hohen Grade von Sicherheit gebracht worden. Miescher¹⁾ führt nach Abtragung der Dura spinalis ein sogenanntes Schutzmesserchen mit der Fläche parallel dem Verlaufe des Rückenmarkes von hinten nach vorn her durch dasselbe hindurch und steckt es mit der Spitze in dem unterliegenden Wirbelkörper

¹⁾ l. c. S. 409.

fest; er kann dann, mit einem anderen Messer senkrecht auf dieses Schutzmesserchen zuschneidend, einen von ihm beliebig abgegrenzten Theil des Rückenmarkes quer durchschneiden, ohne diejenigen Partien, welche intact bleiben sollen, einem nennenswerthen Druck auszusetzen. Bei Anwendung zweier Schutzmesserchen lassen sich innere Partien des Markes durchschneiden mit Erhaltung der äusseren, und umgekehrt, äussere mit Erhaltung der inneren. Woroschiloff¹⁾ fügt zur noch grösseren Sicherheit der Schnittführung eine sinnreich erdachte metallene Klammer hinzu, welche einerseits mit dem Operationsbrett fest verbunden ist, andererseits die schiefen Fortsätze zweier Wirbel, innerhalb welcher das Mark durchschnitten werden soll, unverrückbar festhält. Bei etwaigen Bewegungen des Thieres bleibt in Folge dessen dennoch der betreffende Rückenmarksabschnitt in vollständiger Ruhelage. Die Schutzmesserchen sind an den Zangenarmen verschieblich befestigt, wodurch eine grosse Sicherheit in ihrer Führung erreicht wird.

Ich habe von keinem dieser beiden Hilfsmittel, so vortheilhaft sie mir gewesen wären, Gebrauch machen können. Die complicirte Klammer Woroschiloff's stand mir nicht zu Gebote. Auch schien es von vorn herein nicht wahrscheinlich, daß sie an den Halswirbeln, die in Körper und Fortsätzen kleiner sind als die Lenden- und Brustwirbel, an denen Woroschiloff arbeitete, mit Vortheil angelegt werden könnte.

Das Schutzmesserchen habe ich am obersten Theil der Wirbelsäule mehrmals anzuwenden versucht; aber es gelang mir nicht, dieses in der gegenüberliegenden Knochenwand so festzustecken, daß ein gegen dasselbe schneidendes Messer an ihm genügenden Halt gefunden hätte; auch an isolirten aufgebrochenen Halswirbeln konnte ich das Messerchen bei aller Kraft nur mit seiner äussersten Spitze in sehr ungenügender Weise

¹⁾ l. c. S. 250.

befestigen. Außerdem begegnete es mir, daß durch das Messerchen venöse Sinus eröffnet wurden und Blutungen eintraten, welche die Fortsetzung des Versuches verhinderten. So wurden diese beiden Hilfsmittel aufgegeben; und was durch sie vielleicht an Sicherheit der Schnittführung eingebüßt wurde, mußte durch Uebung zu gewinnen gesucht werden.

Die für eine brauchbare Durchschneidung hauptsächlichste Bedingung war die ruhige Lage des Thieres. Deshalb wurde die oben angegebene intravenöse Morphinum-Injection gemacht. Die Dosis war je nach der Stärke des Thieres verschieden; doch gelang es nicht, selbst durch Gaben von 0,07 g bei der Durchschneidung die Zuckungen vollständig zu vermeiden. Sollte die Durchschneidung von hinten her geschehen, so wurde das bloßgelegte Stück der Dura spinalis mit einer Hakenpincette etwas aufgehoben, der Länge nach aufgeschlitzt, oben und unten quer durchschnitten und seitwärts auf die Ränder der Wirbelöffnung zurückgelegt. Geschah die Durchschneidung in der Höhe der Membrana obturatoria, so mußte selbstverständlich diese vorher abgetrennt werden, eine Operation, die auch bei der bisweilen sehr großen Rigidität der Membran keine Schwierigkeiten macht, wenn man eben nur die seitlich von ihr gelegenen venösen Sinus respectirt. Da die Unruhe des Thieres trotz der Narcose besonders bei der Durchschneidung, ja bei der bloßen Berührung der Hinterstränge sich einstellte, so wurde, wenn der Hinterstrang mit durchtrennt werden sollte, zuerst durch einen schnellen Scherenschnitt diese Trennung vorgenommen; dann verhielt sich das Thier ruhig genug, um die sorgfältige Ausführung des übrigen Theiles der beabsichtigten Durchschneidung zuzulassen. Darauf wurde, ähnlich dem von Weifs¹⁾ angegebenen Handgriff mit der Messingplatte, eine passend ge-

¹⁾ N. Weifs. Untersuchungen über die Leitungsbahnen im Rückenmarke des Hundes. Sitzungsber. der kais. Acad. d. Wiss. Math.-phys. Classe. LXXX. Bd. III. Abth. Wien. 1879. S. 342.

krümmte, sehr flache Hohlsonde zwischen Dura und Mark vorsichtig unter Schonung der Sinus gegen die vordere Mittellinie geführt. Einige Male gelang die Unterschiebung der Sonde nur schwierig; es zeigte sich dabei als Hinderniß eine hintere Wurzel, die sich mit ihren dicken Ursprungsfäden vor das Sondenende gelegt hatte; deshalb ist es rathsam, die zu durchbrechende Wirbelstelle so zu wählen, daß diese Complication vermieden wird. Zur Durchschneidung selbst wurde ein schmales, feines, sehr scharfes, geradrückiges Messer benutzt. Dasselbe wird, während die linke Hand die Sonde hält, je nachdem man den Schnitt zu legen gedenkt, mehr seitlich oder medianwärts, senkrecht durch die Dicke des Markes hindurchgeführt, bis es mit der Spitze auf die Hohlsonde stößt, und endlich, immer mit letzterer in Contact bleibend, seitlich ausgezogen. Auf diese Weise wird die Blutung fast gänzlich vermieden und die dem Schnitt angrenzende intacte Marksubstanz nur in minimaler Weise beleidigt. Soll der Schnitt nicht durch die ganze Dicke des Markes gehen, so muß die Messerführung modificirt werden in einer Weise, die sich von selbst ergibt. — Wird die Durchschneidung von vorn her vorgenommen, so steht ein viel beschränkteres Markgebiet zur Verfügung; die Anwendung der Hohlsonde wird dadurch ausgeschlossen, und es kann, nach Schlitzung der Dura, am besten unter Zuhilfenahme der Loupe, nur mit dem Messer gearbeitet werden.

Mit einiger Uebung gelingt es, in der hier skizzirten Weise zu brauchbaren Resultaten zu kommen; doch bleibt immerhin Vieles dem Zufalle überlassen. Nur selten wird der Schnitt genau so geführt werden, wie man ihn in der Idee hat; und deshalb wird auch die Anzahl der angestellten Versuche die der wirklich verwerthbaren immer um ein Erkleckliches übersteigen. Brown-Séguard¹⁾ giebt zwei Abbildungen

¹⁾ E. Brown-Séguard. Nouvelles recherches sur la physiologie de la moelle

von Rückenmarksquerschnitten, in denen sehr gerade, parallel verlaufende Grenzlinien von partiellen Durchschneidungen gezeichnet sind, aber dieselben sind wohl nur schematisch zum leichteren Verständniß des Textes beigelegt und nicht Bilder wirklich so exact ausgeführter Durchschneidungen. Er selbst sagt auch im Verlauf des Textes: „En répétant l'expérience nombre de fois, et en le variant un peu à chaque fois (ce qui est du reste inévitable, car on ne coupe jamais exactement ce que l'on veut couper, et c'est l'autopsie qui montre ce qui a été fait)“ Und bei der eigenthümlichen Versenkung der weißen Stränge in die graue Substanz wird es sehr selten gelingen, durch eine einfache Durchschneidung einen Strang ganz isolirt und vollständig zu trennen. Daß man dies durch Durchschneidung und zugleich Abtragung einer Strecke des zu trennenden Stranges ermöglichen könne, giebt Schiff¹⁾ an, und er beschreibt auch die Methode, wie er es von hinten her, sowohl für den Hinter- wie auch für den Vorderseitenstrang ausgeführt hat.

Nach Vollendung der Durchschneidung wird die Naht der Kopfhautwunde entfernt und

die Reizung des motorischen Rindenfeldes nach der Durchschneidung

vorgenommen. Sie geschieht in derselben Weise wie vorher. Die Interpretation des Ergebnisses dieser Reizung ist aber einer der subtilsten Punkte des ganzen Versuches. Es würde freilich nichts weiter darüber hinzuzusetzen sein, wenn die Beobachtung sich nur auf den einfachen Fall, entweder Bestehen- oder Ausbleiben der Bewegungen bei denselben

épineuse. Journal de la physiologie de l'homme et des animaux. Tome I. Paris 1858. S. 139.

¹⁾ M. Schiff. Sur la transmission des impressions sensibles dans la moelle épinière. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences. Tome XXXVIII. Paris 1854. S. 926.

Stromstärken, bei denen sie vorher deutlich vorhanden waren, beschränken könnte. Dann gäbe es nur reine positive Resultate, d. h. Bestehenbleiben, und reine negative, d. h. Ausbleiben der Bewegung; und es ist klar, daß die ersteren für die Schlußfolgerung die bei weitem wichtigeren sind. Denn wenn dieselbe Reizung nach dem Schnitt eine Zuckung ergiebt, welche gleichbedeutend derjenigen vor dem Schnitt ist, so läßt sich kein Zweifel an der Richtigkeit *des* Schlusses erheben, daß Wege für diese Contraction in dem nicht durchschnittenen Theile des Markes liegen. Anders aber bei negativem Erfolg. Bleibt nach derselben Reizung die Zuckung aus, so ist die Möglichkeit vorhanden, daß die Wege für dieselbe gar nicht vom Schnitt getroffen sind, sondern, obgleich in Continuität, nur deshalb nicht functioniren, weil sie durch den Eingriff in irgend einer anderen Weise beleidigt wurden. Es ist also nicht erlaubt, allein aus dem negativen Resultat (dieselbe Stromstärke angewendet) einen Schluß auf die Lage der Innervationswege zu ziehen.

Aber so einfach, daß er nur rein positive oder rein negative Resultate ergäbe, gestaltet sich der Act der electrischen Reizung nach der Durchschneidung gewöhnlich nicht. Denn mit negativem Ergebniss bei demselben Rollenabstand begnügt man sich nicht, sondern schiebt die secundäre Rolle vor. Diese Stromverstärkung ist aber ein neues Moment, welches in die Versuchsanordnung eingeführt wird, und es ist deshalb nöthig, sich über dasselbe, soviel es angeht, klar zu werden. Der verschiedene Werth der größeren oder geringeren Stromstärken ist bekanntlich nicht von Allen, die sich mit electrischen Hirnreizungen beschäftigten, beherzigt worden.

Wenn man bei einem Kaninchen mit unversehrtem Centralsystem das Rindenfeld für die beiden bekannten Muskeln aufsucht, d. h. diejenige Stelle der Hirnoberfläche, deren electrische Reizung mit schwächsten Strömen eine Zuckung hauptsächlich dieser beiden Muskeln ergiebt, und

dann die secundäre Rolle des Apparates der primären ein wenig nähert, so werden die vorher gesehenen Zuckungen stärker; und es zeigen sich auch deutliche Contractionen anderer, vorher ruhiger Muskeln derselben Extremität; das Gleiche gilt für die Extremität der anderen Seite. Verstärkt man den Strom noch mehr, so wird auch die Muskulatur des Halses und des Rückens in den Bereich der Zuckungen gezogen, und es fangen auch Gesichtsmuskeln an sich zu contrahiren. Außerdem sah ich bisweilen, bei öfterer Wiederholung der Reizung und zwar auch mit verhältnißmäßig schwachen Strömen, allgemeine Krämpfe auftreten; doch habe ich meine Beobachtungen auf diese nicht weiter ausgedehnt.

Es lassen sich also, von einem Punkte der Hirnoberfläche aus, die verschiedenartigsten Muskelgruppen zur Contraction bringen; ein Zeichen dafür, daß die Leitung der electricen Erregung innerhalb des Gehirns überhaupt nicht so einfach ist, und daß sie sich bei öfterer Wiederholung und bei Verstärkung der Erregung noch mehr complicirt. Ueber die Wege, welche die Leitung in allen diesen Fällen im Centralorgan nimmt, besitzen wir bis jetzt noch nicht eine ungefähre Vorstellung. Einiges Wenige wissen wir über den Anfangstheil, über die Hirnrinde. Hier scheint mit Recht angenommen werden zu können, daß sie selbst, und nicht durch Stromschleifen die unter ihr liegende weiße Masse, erregt wird. Darauf deuten die bis jetzt gefundenen Unterschiede in den Resultaten der Reizung der Hirnrinde und jener der weißen Hirnsubstanz hin, die mit Zufügung neuer Thatsachen neulich von Neifser ¹⁾ zusammengestellt worden sind. Und auch für stärkere Ströme machen dies

¹⁾ A. Neifser. Untersuchungen über die electriche Erregbarkeit der verschiedenen Schichten der Großhirnrinde. Berlin 1886. (Inaugural-Dissertation) und E. Asch und A. Neifser. Untersuchungen etc. Archiv für die gesammte Physiologie etc. Von Pflüger. XL. Bd. Bonn 1887. S. 191.

die bekannten von Braun¹⁾ und von Exner²⁾ angestellten Unterschneidungsversuche wahrscheinlich.

Reizt man dasselbe motorische Rindenfeld des Kaninchens mit wachsenden Strömen *nach partieller Durchschneidung des Markes*, so kann sich die allmähliche Ausbreitung der Muskelcontractionen modificiren, insbesondere kann das Verhalten der beiden beobachteten Extremitätenmuskeln, deren Zuckungen bei intactem Rückenmark mit der Stromstärke an Intensität zunehmen, in verschiedener Weise ein anderes werden.

Es kommen Fälle vor, und dies sind die häufigsten, in welchen bei gleicher Stromstärke zwar ein negatives Resultat erhalten wird; nach Näherung der secundären Rolle um einen oder einige Centimeter zucken aber die Muskeln in derselben Stärke, wie vor der Durchschneidung, und die Zuckung nimmt mit der noch weiteren Verstärkung des Stromes an Energie zu. Andererseits können aber auch diese Zuckungen ein von dem eben beschriebenen sehr verschiedenes Bild darbieten, einer oder beide Muskeln contrahiren sich wohl, aber während dort der Zuckungsablauf einer gewissen Schnelligkeit und Exactheit nicht entbehrte, zeigt er hier den Charakter außerordentlicher Langsamkeit und Trägheit. Die Muskeln machen den Eindruck sehr großer Müdigkeit; es sieht aus, als ob sie nur mit äußerster Noth zu einer sehr langsamen, müden Contraction gelangen können. Und wenn dann der Strom noch mehr verstärkt wird, so bleibt diese müde Zuckung in gleicher Weise bestehen.

In anderen Fällen sieht man, daß die beiden Muskeln bei allmählichem Vorschieben der Rolle lange Zeit vollständige Ruhe bewahren; plötzlich aber bei sehr großer Stromstärke, etwa wenn die Rollen theil-

¹⁾ l. c. S. 137.

²⁾ S. Exner. Zur Kenntniß der motorischen Rindenfelder. Sitzungsber. der kais. Acad. d. Wiss. Math.-phys. Classe. LXXXIV. Bd. III. Abth. Wien 1882. S. 185.

weise oder ganz über einander geschoben sind, beginnen sie zu zucken, doch ist die Zuckung immer minimal. Dies ereignet sich sogar bisweilen bei vollständiger Durchschneidung der den beobachteten Muskeln gleichseitigen Markhälfte.

Schließlich kommen auch solche Fälle vor, in denen, selbst bei vollständig übereinander geschobenen Rollen eine Zuckung der beiden Muskeln nicht mehr hervorgerufen werden kann.

Es fragt sich nun : wie sind diese verschiedenen Beobachtungen zu deuten, und in wie weit lassen sie sich für das Gesamtergebnis der Untersuchung verwerthen?

Ueber die zuletzt angeführten gänzlich negativen Resultate ist nichts weiter zu sagen; sie können nicht als beweisend gelten und dürfen nur vergleichungsweise benutzt werden. Aber auch, wenn man bei Anwendung sehr starker Ströme schließlich eine Zuckung erlangt, wird man mit dem Ergebnis doch nicht rechnen wollen. Denn man kann sich des Argwohns nicht erwehren, daß bei so starker Erregung die Leitung nicht auf den Wegen geht, welche gesucht werden. Nun ist aber eine Verstärkung des Reizes in den meisten Fällen, wie man den Schnitt auch legt, nöthig, um nach der Durchschneidung eine Contraction zu erhalten; und der Grund dafür liegt, vorausgesetzt, daß die Erregbarkeit des Rindenfeldes nicht vermindert ist, in dem Mangel an Exactheit, welcher jeder Rückenmarksdurchschneidung anhaftet. Wie behutsam man auch operiren mag, ein Druck oder eine Zerrung der den Innervationswegen dienenden Fasern durch die Durchschneidung wird sich, auch wenn der Schnitt an dieselben nicht heranreicht, nur selten vermeiden lassen. Je näher der Schnitt den Wegen, desto mehr wird dieser Einfluß sich zeigen, und desto größer wird die zur Zuckungsauslösung nothwendige Stromverstärkung sein. Wie übrigens die Art der Markbeleidigung sein muß, damit die Zuckung schnell und exact oder träge und langsam ausfällt, darüber

läßt sich zur Zeit nichts Gewisses beibringen; nur das kann gesagt werden, daß im letzteren Falle die Schädigung des Markes eine schwerere sein wird.

Es ist nun unmöglich, die Grenze der Stromstärke festzustellen, innerhalb welcher eine Zuckung noch als beweisend aufzufassen ist, und jenseits welcher mit ihr nicht mehr gerechnet werden darf. Das radicale Mittel, diese Schwierigkeit zu beseitigen, bestände darin, alle Versuche, welche nicht gleiche Zuckung bei gleicher Stromstärke vor und nach dem Schnitt ergeben, einfach zu den Todten zu werfen. Dazu wird sich aber derjenige nur ungern verstehen, der eine Erfahrung darüber hat, wie viele Versuche schon aus anderen Ursachen unbrauchbar werden, und wie wenige mit solchen absolut positiven Ergebnissen überhaupt sich einstellen. Außerdem würde bei diesem Verfahren auch das schließliche Resultat die gefundenen Innervationswege zu breit angeben, da stets Beleidigungen des Markes an der Schnittgrenze entstehen und auf eine Wiederherstellung der eingeengten Functionen nicht gewartet werden kann. Es müssen also auch die nicht absolut positiven Resultate verwendet werden, doch ist dabei große Reserve von Nöthen. Man wird aber keinen Fehler begehen, wenn man diejenigen Versuche, in denen bei gleicher oder ein wenig größerer Stromstärke nach der Durchschneidung eine Zuckung erschien, als beweisende annimmt, denen gegenüber die, bei welchen starke und stärkste Ströme zur Zuckung nöthig waren, sowie die vollständig negativen nur als unterstützende in Betracht kommen.

Die eben gebrauchten Ausdrücke „ein wenig größere“, „große“ und „größte“ Stromstärke lassen sich eben nicht präcisiren. Wer eine größere Anzahl von Versuchen macht, bekommt jenen gegenüber schon eine gewisse Sicherheit, die sich aber mit der Feder nicht darstellen läßt.

Nachdem der Versuch soweit günstig verlaufen ist, wird das Thier getödtet, und es erfolgt

die Herausnahme des Markes und die Untersuchung der Schnittstelle.

Beides geschieht in bekannter Weise. Die Weichtheile werden von Dornfortsätzen und Wirbelbögen entfernt, und nachdem man sich überzeugt hat, ob der Schnitt an der beabsichtigten Stelle angelegt ist, der Wirbelkanal vorsichtig mit Erhaltung der Dura eröffnet, dann wird das betreffende Markstück ebenso vorsichtig nebst seinen Häuten aus dem Wirbelkanal herausgenommen und die Schnittstelle einer äußerlichen Betrachtung unterworfen. Wenn man das Stück an der Schnittstelle sogleich nach der Herausnahme durchschneidet, so läuft man Gefahr, bei der Weichheit der Substanz noch im letzten Augenblick den ganzen Versuch werthlos zu machen. Deshalb legt man dasselbe besser in Chromsäure und befreit es erst, nachdem es einige Festigkeit erlangt hat, von seinen Häuten. Schliesslich schneidet man das Stück, sobald die Consistenz dies ohne Gefahr erlaubt, an der Operationsstelle vollständig durch und untersucht die Schnittfläche. Woroschiloff hat uns mit mikrophotographischen Bildern seiner Durchschnitte beschenkt; ich habe bei der grossen Anzahl meiner Versuche mich mit der Durchmusterung der Schnittflächen unter der Loupe begnügen müssen.

Bei der Untersuchung findet man übrigens oft die Schnittflächen ziemlich glatt und eben und die Schnittgrenze als eine mehr weniger gerade, ohne Auszackungen fortlaufende Linie. Bisweilen bietet aber der Schnitt, soweit er innerhalb des Versuches gesetzt war, das Bild einer gröfseren Zerstörung dar; statt der glatten Fläche zeigt er eine solche von rauher, unebener Beschaffenheit, die sich auch äußerlich durch gröfseres Klaffen der Schnittränder kundgab; man findet kleinere und gröfsere Buchten und Höhlen, die Schnittgrenze ist unregelmässig und

zackig; und man kann sich auch hieraus schon der Ueberzeugung nicht verschließen, daß der Eingriff in die Rückenmarksleitung ein weitergreifender war, als er durch die Grenze des eigentlichen Schnittes einen Ausdruck findet.

**Zur Kreuzung der Innervationswege für die mm. ext. dig. comm.
und ext. carp. int.**

Zur Fundirung der nach der angegebenen Methode auszuführenden Versuche war es wichtig, über die Kreuzung der Wege für die beiden zu beobachtenden Extensoren einige Klarheit zu gewinnen. Denn das Resultat einer partiellen Durchschneidung wird eine andere Interpretation erfordern, wenn die Durchschneidung über oder innerhalb der Kreuzung gesetzt wird, als wenn sie an eine Stelle fällt, an welcher schon sämtliche Leitungsfasern auf die andere Seite getreten sind.

Mit Versuchen über die Kreuzung der Leitung der electricischen Erregung für die Vorderextremität des Kaninchens hat sich Balighian¹⁾ beschäftigt. Sein Hauptversuch war folgender: Er durchschnitt die rechte Hälfte der Medulla oblongata vollständig in der Gegend des Tuberculum acusticum und legte von dem Querschnitt einen Längsschnitt in der Medianebene nach unten, der die ganze Medulla oblongata bis zur Spitze des Calamus scriptorius in zwei Hälften theilte. Nach der Operation sah er bei Reizung des rechten Rindenfeldes Bewegungen der linken, bei Reizung des linken Rindenfeldes Bewegungen der rechten Vorderpfote. Aus diesem Versuche und aus anderen denselben stützenden schloß er, daß die Kreuzung der electricisch-motorischen Wege für die Muskeln der Vorderextremität des Kaninchens auf eine längere Strecke des Markes

¹⁾ l. c.

vertheilt ist. Die genaue untere Grenze der Kreuzungsstrecke hat Balighian aber nicht bestimmt; er konnte nur angeben, daß er keine Andeutungen dafür gefunden habe, daß sie tiefer, als der Atlas, läge. Da es mir hauptsächlich auf diese unterste Grenze der Kreuzung für die beiden zu beobachtenden Muskeln ankam, habe ich in der Gegend der Schreibfederspitze folgende Versuche mit halbseitiger Durchschneidung gemacht.

- 1) Abtragung des Epistropheus-Bogens. Freilegung des linken motorischen Rindenfeldes. Morphin-Injection. Vorbereitung der künstlichen Athmung. Präparation der mm. ext. dig. comm. und ext. carp. int. rechterseits.

Auf Reizung des Rindenfeldes deutliche Contraction beider Extensoren bei Rollenabstand von 150 mm.

Die rechte Markhälfte wird bei künstlicher Athmung vollständig zu durchschneiden versucht.

Nach der Durchschneidung ist auch bei übereinander geschobenen Rollen eine Contraction beider Extensoren nicht mehr hervorzurufen.

Die Section ergibt vollständige Halbirung des Markes.

- 2) Membrana obturatoria, sowie das l. Rindenfeld freigelegt. Präparation der Muskeln beiderseits. Die übrigen Vorbereitungen wie oben.

Bei R.-A. 160 deutliche Contraction beider r. Muskeln; beide l. Muskeln sind ruhig.

Nach r. Durchschneidung erst bei übereinander geschobenen Rollen minimale Contraction in beiden r. Muskeln.

Die Besichtigung ergibt Halbirung des Markes c. 1,5 mm unterhalb des Calamus scriptorius.

- 3) Vorbereitungen wie im vorigen Versuch.

Bei R.-A. 180 deutliche Contraction beider r. Muskeln.

Nach r. Durchschneidung bei R.-A. 100 äußerst schwache Contraction anderer Muskeln des rechten Beines, die beiden r. Extensoren bleiben auch bei ganz übereinander geschobenen Rollen ruhig.

Die Halbirung des Markes findet sich c. 1 mm unterhalb des Cal. script.

- 4) Bloßlegung des Rindenfeldes beiderseits. Sonst Vorbereitungen wie oben.

Auf l. Reizung schwache aber deutliche Contraction beider r. Muskeln bei R.-A. 180, die l. Muskeln zeigen die erste Contraction bei R.-A. 140.

Auf r. Reizung schwache Contraction der l. Muskeln bei R.-A. 180, der r. Muskeln bei R.-A. 120.

Nach r. Durchschneidung auf l. Reizung erst bei ganz übereinander geschobenen Rollen sehr schwache, auf r. Reizung keine Contraction der r. Muskeln. Die l. Muskeln zucken auf r. und l. Reizung bei R.-A. 110.

Die Halbirung findet sich c. 1 mm unterhalb des Cal. script.

5) Vorbereitungen wie im vorigen Versuch.

Auf r. und l. Reizung bei R.-A. 170 Contraction beider Muskeln der gekreuzten Seite, bei R.-A. 160 Contraction der r. Muskeln auf r. Reizung.

Nach r. Durchschneidung auch bei vollständig übereinandergeschobenen Rollen weder bei gekreuzter noch bei gleichseitiger Reizung Contraction der beiden r. Muskeln.

Die Halbirung findet sich c. 1 mm unterhalb des Cal. script.

6) Vorbereitungen wie oben.

Auf l. Reizung bei R.-A. 160 deutliche Contraction beider r. Muskeln.

Nach r. Durchschneidung bei R.-A. 80 Contraction der l. Muskeln auf l. Reizung, bei R.-A. 40 zeigt sich Flexion der r. Zehen, aber selbst bei übereinandergeschobenen Rollen keine Contraction der beiden r. Extensoren.

Die Halbirung findet sich c. 0,5 mm unterhalb des Cal. script.

7) Vorbereitungen wie oben.

Auf l. Reizung Contraction beider r. Muskeln bei R.-A. 180, bei R.-A. 150 Contraction derselben Muskeln auch auf r. Reizung.

Nach r. Durchschneidung bei R.-A. 70 auf r. Reizung Contraction des r. ext. dig., auf l. Reizung beider r. Extensoren sehr schwach, aber deutlich.

Die Halbirung findet sich dicht unterhalb des Cal. script.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß nach Hemisection in der Höhe des Epistropheus, sowie c. 1,5 mm, 1 mm und 0,5 mm unterhalb des Calamus scriptorius, eine Contraction der beiden Extensoren der durchschnittenen Seite auch bei stärkster Reizung des entgegengesetzten Rindenfeldes für gewöhnlich nicht mehr hervorgerufen werden kann — nur zweimal zeigte sich bei übereinander geschobenen Rollen eine minimale Zuckung. Geschah die Hemisection dicht an der Spitze des Calamus scriptorius, so erschienen kleine Zuckungen etwas früher. Andere Muskeln der Vorderextremität der verletzten Seite befanden sich, nach halb-

seitiger Durchschneidung in den oben angegebenen Höhen, bisweilen in anscheinend günstigeren Leitungsverhältnissen. Die Extensoren der intacten Seite aber contrahirten sich auf entgegengesetzte Reizung schon bei viel geringerer Stromverstärkung, wie Versuch 4 zeigt. Es wird deshalb anzunehmen sein, daß die Kreuzung für diese beiden Extensoren höchstens nur eine minimale Strecke unter die Schreibfederspitze hinunterreicht.

Uebrigens ist es wahrscheinlich, daß sich das unterste Ende der Kreuzung nicht in jedem Falle in genau derselben Markhöhe befindet; um so mehr, als wir Andeutungen dafür haben, daß nicht bloß bei verschiedenen Thierspecies, sondern auch bei Individuen derselben Art andere Verschiedenheiten betreffs der Kreuzung vorhanden sind. Dies muß aus Beobachtungen Couty's¹⁾, über die Auslösung bilateraler Bewegungen von einem Rindenfeld aus, entnommen werden. Während nämlich beim Kaninchen auf Reizung eines Rindenfeldes für gewöhnlich zuerst Bewegungen der gekreuzten und erst bei etwas stärkeren Strömen auch der gleichseitigen Vorderextremität auftreten, fand Couty, daß bei Beuteltieren auch bei Anwendung schwächster Ströme die Bewegungen stets bilateral sind; bei einem dieser Thiere erschien die Bewegung an der Extremität der gleichen Seite früher. Aber auch für das Kaninchen bemerkt er, daß bisweilen nur bilaterale Bewegungen hervorgerufen werden können.

Diese in der physiologischen Kreuzung vorkommenden Verschiedenheiten innerhalb derselben Thierart erinnern an die Untersuchungen Flechsig's, welche die große Variabilität der anatomischen Kreuzung beim Menschen dargethan haben.

¹⁾ Couty. De la valeur de l'entrecroisement des mouvements d'origine cérébrale. Comptes rendus hebdom. des séances de l'acad. des sciences. Tome XLVI. Paris 1883. S. 506.

Schließlich blieb noch übrig,

die Austrittsstelle der Leitung für die beiden Extensoren aus dem
Halsmark

ungefähr zu bestimmen, um zu erfahren, wie weit mit der Durchschneidung hinuntergegangen werden kann, wenn die Innervationswege für diese Muskeln noch getroffen werden sollen.

Nach Peyer's¹⁾ auf electrischen Reizungen der Nervenstämme beruhenden Untersuchungen setzt sich der Plexus brachialis des Kaninchens aus dem sechsten, siebenten und achten Hals- und ersten Brustnerven zusammen, mit Zuzug eines Faserbündels vom fünften und sehr selten auch vom vierten Halsnerven. Die Leitung für den extensor digitorum communis verläßt mit dem achten Hals- und ersten Brustnerven, die für den extensor carpi internus mit dem sechsten und siebenten Halsnerven das Mark.

Ich habe, um mich, soviel es für meine Untersuchungen nöthig war, über diesen Punkt zu vergewissern, Rindenfeldreizungen nach vollständiger, in verschiedenen Höhen ausgeführter Markdurchschneidung vorgenommen. In einem Versuche fand ich, nach Marktrennung in der Höhe des vierten Halswirbels unterhalb der vierten Wurzel, vom Rindenfeld aus vollständige Unerregbarkeit beider Muskeln; in einem zweiten ließ sich nach Marktrennung in der Höhe des fünften Halswirbels nur noch der extensor carpi mit maximalen Strömen erregen. In zwei anderen Versuchen durchschnitt ich das Mark in der Höhe des siebenten Halswirbels dicht unterhalb einer sich in der Wirbelöffnung präsentirenden Wurzel, die sich bei

¹⁾ J. Peyer. Ueber die peripherischen Endigungen der motorischen und sensiblen Fasern der in den Plexus brachialis des Kaninchens eintretenden Nervenwurzeln. Zeitschrift für rationelle Medicin. Von Henle und Pfeufer. Neue Folge. IV. Bd. Heidelberg 1854. S. 52.

der Section als die des achten Halsnerven auswies¹⁾; im einen dieser Fälle konnte ich mit schwachen Strömen beide Extensoren von beiden Rindenfeldern aus, im anderen, in welchem, bei der Manipulation am Mark, die achte Wurzel vielleicht leitungsunfähig gemacht worden war, nur den extensor carpi zur Contraction bringen. Aus den Versuchen folgt, daß wenigstens ein Theil der Wege für die beiden Muskeln in der Höhe des siebenten Halswirbels das Mark schon verlassen hat; in der Höhe des vierten Halswirbels aber befinden sich sämtliche Wege noch innerhalb des Markes. Diese Untersuchungen genügten mir, da sie zeigten, daß die Versuche partieller Durchschneidung vom oberen Ende des Halsmarkes bis in die Höhe des vierten Wirbels ausgedehnt werden konnten.

Nebenher bemerke ich, daß ich den oben angeführten vollständigen Durchschneidungen gelegentlich noch einige am obersten Ende des Halsmarkes, in der Höhe der Membrana obturatoria, hinzugefügt habe, um zu erfahren, wie sich dann die ganze Extremität auf Reizung ihres Rindenfeldes verhält. Ich erhielt bei starken Strömen außer Zuckungen von Nacken-, Rücken- und Gesichtsmuskeln auch Bewegungen der Vorderextremität, die im Allgemeinen in einer Adduction des ganzen Beines bestanden. Sie traten zwar nicht bei jeder Reizung auf, aber waren doch deutlich hervorzurufen, bisweilen auf einer, bisweilen zugleich auf beiden Seiten. In einem Falle, in welchem dieses Anziehen des Vorderbeines

¹⁾ Die Wurzeln der unteren Halsnerven entspringen aus dem Halsmark näher unter einander als die der oberen, wie ja auch die Halswirbel, besonders in ihren Bögen, von oben nach unten an Höhe abnehmen. Außerdem liegen die Austrittsstellen der Wurzeln der oberen Halsnerven mit ihren Zwischenwirbellöchern ungefähr in gleicher Höhe, so daß man bei Durchschneidung innerhalb eines oberen Halswirbels den Schnitt unter die diesem Wirbel gleichnamige Wurzel legt; in der Höhe der unteren Halswirbel aber, besonders beim siebenten, liegen die Austrittsstellen der Wurzeln etwas höher, als die zugehörigen Zwischenwirbellöcher.

nur rechterseits auftrat, blieb nach Durchschneidung des rechten N. accessorius die Bewegung aus. Wurde bei intactem Mark der N. accessorius einer Seite nach seinem Austritt aus dem Schädel aufgesucht und gereizt, so zeigten sich ebenfalls Zuckungen der Nacken- und Rückenmuskulatur und Adductionsbewegungen in der Vorderextremität derselben Seite. Diese durch die Bahn des N. accessorius vermittelten Bewegungen kamen bei meinen Untersuchungen nicht in Betracht; bei Versuchen, in denen die Bewegungen der ganzen Extremität studirt werden, wird man aber, wenn man sich dabei starker Ströme bedient, mit dem N. accessorius zu rechnen haben.

Versuchsprotocolle.

Ich bringe jetzt die Protocolle über die eigentlichen Leitungsversuche bei, damit sich der Leser selbst ein Urtheil bilden kann über das, was überhaupt gemacht worden ist. Es sind hier nur diejenigen Versuche notirt, bei welchen die Schnittfläche des Markes ein gutes Bild ergab.

Die Beobachtungen betreffen sowohl die gekreuzte, wie auch die gleichseitige Leitung und sind für beide nicht in gesonderten Versuchsreihen, sondern zusammen in einem und demselben Versuche gemacht worden. Zur vollständigen Ausnutzung jedes Versuches hätte jedesmal vor und nach der Durchschneidung die gekreuzte und die gleichseitige Leitung von jeder Hemisphäre aus untersucht werden müssen. Dies ist aber in den meisten Fällen unterlassen worden, vielmehr wurden die einzelnen Versuche, wie auch die oben über die Kreuzung angegebenen, nach dieser oder jener Richtung variirt. Denn die Erregbarkeit der Hirnrinde wird durch öftere starke Reizungen beeinträchtigt, und bei der Vielseitigkeit des zu Beobachtenden hätte auch die Genauigkeit der einzelnen Beobachtung Noth gelitten.

Die sich aus den Protokollen für beide Leitungen ergebenden Schlüsse werden für jede gesondert zusammengestellt werden.

Alle Durchschneidungen sind in der rechten Markhälfte gesetzt.

I. Versuche am obersten Ende des Halsmarkes.

1. Durchschneidung des Hinterstranges.

- 8) Der ganze Hinterstrang dicht unterhalb des Cal. script. durchschnitten.
Vor der Durchschneidung : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 170.
Nach der Durchschneidung : Dasselbe Resultat.
- 9) Der ganze Hinterstrang in derselben Höhe, wie im vorigen Versuch, durchschnitten.
Vor : Auf l. Reizung Zuckung des r. ext. carp. bei R.-A. 150, auch des ext. dig. bei R.-A. 140.
Nach : Dasselbe Resultat.
- 10) Der ganze Hinterstrang c. 1 mm unterhalb des Cal. script. durchschnitten.
Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 205, auf r. Reizung bei R.-A. 150.
Nach : Dasselbe Resultat.
- 11) Der ganze Hinterstrang in derselben Höhe, wie im vorigen Versuch, durchschnitten.
Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 150.
Nach : Dasselbe Resultat.
- 12) Der ganze Hinterstrang in derselben Höhe durchschnitten.
Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 170, auf r. Reizung bei R.-A. 145.
Nach : Auf l. Reizung bei R.-A. 155, auf r. Reizung bei R.-A. 120.

2. Durchschneidung des Hinter- und Seitenstranges.

- 13) Der ganze Hinterstrang und der größte Theil des Seitenstranges c. 1 mm unterhalb des Cal. script. durchschnitten. Vom Seitenstrang steht nur noch ein schmales, dem Vorderstrang anliegendes Stück.
Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 160.
Nach : Leise Zuckung bei R.-A. 150, stärkere bei R.-A. 145.

- 14) Der ganze Hinterstrang und der größte anliegende Theil des Seitenstranges dicht unterhalb des Cal. script. durchschnitten.
- Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 160, auf r. Reizung Zuckung beider l. Muskeln bei R.-A. 180.
- Nach : Auf l. Reizung leise Zuckung des r. ext. dig. bei R.-A. 100, stärkere Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 50, Zuckung beider l. Muskeln bei R.-A. 170; auf r. Reizung leise Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 100, beide l. Muskeln zucken bei demselben R.-A. stark, wurden bei größerem nicht beobachtet.
- 15) Der ganze Hinter- und Seitenstrang dicht unterhalb des Cal. script. durchschnitten. Der Schnitt greift ein wenig in den medialen Theil des anderen Hinterstranges hinüber.
- Vor : Auf l. Reizung schwache Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 160, stärkere bei R.-A. 150.
- Nach : Schwache Zuckung beider Muskeln bei R.-A. 120; auch bei R.-A. 60 ist die Contraction nur schwach, dabei zugleich Zuckungen des ganzen Körpers.
- 16) Der ganze Hinter- und Seitenstrang c. 1 mm unterhalb des Cal. script. durchschnitten.
- Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 175.
- Nach : Dasselbe Resultat bei R.-A. 140.
- 17) Vom Hinterstrang nur der Funic. cuneat., der ganze Seitenstrang c. 1 mm unterhalb des Cal. script. durchschnitten. Die beiden Extensoren sind nicht präparirt.
- Vor : Auf l. Reizung Adduction des r. Vorderbeines und Extension der Zehen bei R.-A. 160, beides stärker bei R.-A. 150.
- Nach : Auf l. Reizung bei R.-A. 150 die Extension der Zehen unverändert, die Adduction bleibt aus. Erneute Reizung nach der Freilegung der Muskeln ergibt, daß die Contraction im ext. dig. comm. und ext. carp. int. stattfindet.
- 18) Vom Hinterstrang stehen nur noch die allerinnersten Fasern, der ganze Seitenstrang ist durchschnitten, c. 0,5 mm unterhalb des Cal. script.. Die Muskeln sind nicht präparirt.
- Vor : Auf l. Reizung Adduction des r. Vorderbeines und Extension der Zehen bei R.-A. 130.

Nach : Auf l. Reizung bei demselben R.-A. die Extension der Zehen unverändert, statt der Adduction ein geringes Abstrecken der ganzen Extremität; bei R.-A. 120 dieselben Bewegungen stärker.

3. Durchschneidung des Hinter- und Seitenstranges, sowie von Theilen des Vorderstranges.

- 19) Hinter- und Seitenstrang vollständig durchschnitten, von Vorderstrang nur ein geringer hinterer Theil, c. 1 mm unterhalb des Cal. script., die Schnittgrenze verläuft in sehr unregelmäßiger Zickzacklinie.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 200, beider l. Muskeln noch nicht bei R.-A. 160.

Nach : Auf l. Reizung bei R.-A. 80 noch keine Zuckung der r. Muskeln, schwache Zuckung der l. Muskeln bei R.-A. 100. Bei R.-A. 120 Flexion der r. Zehen.

- 20) Hinter- und Seitenstrang vollständig, Vorderstrang in seiner äußeren Hälfte durchschnitten; dicht unterhalb des Cal. script.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung der r. Muskeln bei R.-A. 165.

Nach : Erst bei R.-A. 60 eine Spur von Zuckung im r. ext. dig.

- 21) Hinter- und Seitenstrang vollständig, vom Vorderstrang etwas mehr als die äußere Hälfte durchschnitten, dicht unterhalb des Cal. script.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 160.

Nach : Zuckung beider Muskeln bei R.-A. 130, mit stärkeren Strömen zunehmend.

- 22) Durchschneidung wie im vorigen Versuch, doch ist die Trennung des Vorderstranges noch etwas ausgedehnter, sodaß von diesem nur noch die innersten Theile stehen; c. 0,5 mm unterhalb des Cal. script.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 170, beider l. Muskeln noch nicht bei R.-A. 165.

Nach : Auf l. Reizung Zuckung beider l. Muskeln bei R.-A. 140, geringe anderer r. Muskeln bei R.-A. 130, sehr schwache beider r. Extensoren erst bei R.-A. 90.

II. Versuche in der Höhe vom zweiten bis zum vierten Halswirbel.

1. Durchschneidung des Vorderstranges.

- 23) In zwei Versuchen Stichverletzungen des Vorderstranges, die weder den medialen noch den lateralen Rand erreichten; zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel.

Vor und nach der Durchschneidung : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei denselben Stromstärken, im einen Falle bei R.-A. 150, im anderen bei R.-A. 180.

- 24) Leichter Schnitt durch den inneren Theil beider Vorderstränge; zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 180.

Nach : Dasselbe Resultat bei R.-A. 150.

- 25) Beide Vorderstränge sind in ihren medialen Theilen durchschnitten, vom r. ist die laterale Hälfte, vom l. etwas mehr erhalten; zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 175, auf r. Reizung bei R.-A. 125.

Nach : Das Gehirn ist aus der Schädelöffnung stark hervorgequollen. Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 165, auf r. Reizung bei R.-A. 125.

- 26) Der ganze Vorderstrang durchschnitten; zwischen dem dritten und vierten Halswirbel.

Vor : Gehirn ein wenig aus der Schädelöffnung vorgetrieben. Auf l. und r. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 130.

Nach : Dasselbe Resultat bei R.-A. 120, die Stärke der Zuckung nimmt mit der Stromverstärkung zu.

2. Durchschneidung des Hinter- und Seitenstranges.

1) In der Höhe des Epistropheus.

- 27) Vom Hinterstrang der Funic. cuneat., vom Seitenstrang der größte Theil durchschnitten. Erhalten ist der Funic. grac., der innerste, sowie ein sehr kleiner dem Vorderstrang anliegender Theil des Seitenstranges, und der ganze Vorderstrang.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 170.

Nach : Bei R.-A. 140 Zuckung anderer Muskeln desselben Beines, bei R.-A. 130 Zuckung von Nacken- und Rückenmuskeln. Bei R.-A. 120 fangen die beiden r. Extensoren an, deutlich, aber auffallend träge zu zucken; dabei bewegt sich auch die andere Vorderextremität.

- 28) Hinterstrang durchschnitten, wie beim vorigen Versuch, außerdem der ganze Seitenstrang bis auf einen sehr kleinen dem Vorderstrang anliegenden Theil.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 180, auf r. Reizung Zuckung beider l. Muskeln bei R.-A. 190.

Nach : Auf l. Reizung sind bei R.-A. 160 die Muskeln der r. Vorderpfote ruhig, die beiden l. Extensoren zucken. Bei R.-A. 120 zucken Rücken- und Nackenmuskeln, bei R.-A. 110 auch Gesichtsmuskeln. Bei R.-A. 40 zucken noch keine Muskeln der r. Vorderpfote. — Auf r. Reizung Zuckung der beiden l. Extensoren bei R.-A. 190, der r. noch nicht bei R.-A. 130.

2) In der Höhe zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel.

- 29) Der ganze Hinterstrang und der kleinere anliegende Theil des Seitenstranges durchschnitten.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 200.

Nach : Bei R.-A. 90 schwache Zuckung des r. ext. dig. und der r. und l. Flexoren; bei R.-A. 80 zuckt auch der r. ext. carp. schwach.

3) In der Höhe des dritten Halswirbels.

- 30) Der ganze Hinterstrang und der kleinere anliegende Theil des Seitenstranges durchschnitten; auch ein kleiner medialer Theil des anderen Hinterstranges ist getroffen.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 150, auf r. Reizung bei R.-A. 120.

Nach : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 70 in geringen Spuren; mit wachsender Stromstärke werden die Zuckungen nicht gröfser. Auf r. Reizung verhalten sie sich von R.-A. 80 an ebenso.

- 31) Schnitt sehr ähnlich dem vorigen; das durchschnittene Stück des Seitenstranges ist ein wenig gröfser.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 170, auf r. Reizung bei R.-A. 160.

Nach : Auf l. Reizung Zuckung bei R.-A. 50 schwach; auf r. Reizung bei R.-A. 40 ebenfalls schwach.

- 32) Schnitt ähnlich den vorigen, nimmt den ganzen Hinterstrang und den kleineren anliegenden Theil des Seitenstranges ein.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 185, auf r. Reizung bei R.-A. 150.

Nach : Auf l. Reizung Zuckung erst bei R.-A. 30 minimal (die Flexoren derselben Seite zucken viel früher), auf r. Reizung bei R.-A. 70 geringe,

bei R.-A. 50 deutlichere Zuckung beider r. Muskeln. Bei der gleichseitigen Reizung sind die Bewegungen des ganzen r. Beines überhaupt etwas ausgiebiger, als bei der gekreuzten Reizung.

33) Schnitt ähnlich dem vorigen.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 140, auf r. Reizung bei R.-A. 120.

Nach : Auf l. Reizung beginnt bei R.-A. 60 der r. ext. dig. sehr schwach zu zucken; die Zuckung nimmt mit Vergrößerung der Stromstärke nicht zu. Der r. ext. carp. zuckt nicht. Die l. Muskeln zucken schon bei viel geringeren Strömen. — Auf r. Reizung beginnt der ext. dig. bei R.-A. 70 leise zu zucken. Das Reizungsresultat ist im Uebrigen genau dasselbe, wie bei l. Reizung. Die Flexoren der r. Extremität contrahiren sich bei Reizungen, welche die beiden Extensoren vollständig in Ruhe lassen.

34) Fast der ganze Seitenstrang ist durchschnitten, es steht nur noch die innerste in der Bucht zwischen den Hörnern liegende Partie. Auch die anliegenden Theile von Hinter- und Vorderstrang sind in sehr geringem Maße getroffen.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung der r. Muskeln bei R.-A. 195, auf r. Reizung bei R.-A. 170.

Nach : Auf l. Reizung sehr träge und langsame Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 70; die l. Muskeln zucken schon bei R.-A. 130. Auf r. Reizung träge Zuckung der r. Muskeln bei R.-A. 70; auch jetzt zucken die l. Muskeln viel früher.

4) In der Höhe zwischen dem dritten und vierten Halswirbel.

35) Der vordere kleinere Theil des Seitenstranges, sowie ein anliegender kleinerer Theil des Vorderstranges durchschnitten.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung des r. ext. dig. bei R.-A. 165 (auch r. Flexoren zucken, ebenso die beiden l. Extensoren). Auf r. Reizung Zuckung des r. ext. dig. bei R.-A. 130, ebenso von Flexoren. Zuckung der beiden l. Extensoren bei R.-A. 140.

Nach : Auf l. Reizung ganz minimale Zuckung des r. ext. dig. bei R.-A. 110, bleibt auch bei den größten Stromstärken minimal. Deutliche Zuckung beider l. Muskeln schon bei R.-A. 140. Auf r. Reizung für den r. ext. dig. dasselbe Resultat wie bei l. Reizung; l. zuckt derselbe Muskel schon bei R.-A. 140, bei R.-A. 110 zucken l. beide Extensoren.

Die r. Flexoren contrahiren sich nach der Durchschneidung stark bei l. Reizung, ein wenig schwächer bei r. Reizung; auch wird die Contraction derselben stärker mit Zunahme der Stromstärke.

5) In der Höhe des vierten Halswirbels.

- 36) Hintere Hälfte des Seitenstranges und ganz geringer angrenzender Theil des Hinterstranges durchschnitten. Vorderer kleinerer Theil des Seitenstranges, größter des Hinterstranges und ganzer Vorderstrang erhalten.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 185, auf r. Reizung bei R.-A. 110 Zuckung des r. ext. dig.

Nach : Auf l. Reizung sehr geringe Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 80; auf r. Reizung geringe Zuckung im ext. dig. bei R.-A. 100.

- 37) Der Schnitt hat den ganzen Seitenstrang getroffen mit Ausnahme einer kleinen vorderen und der innersten zwischen den Hörnern liegenden Partie. Hinterstrang und Vorderstrang sind erhalten.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung der r. Muskeln bei R.-A. 200, auf r. Reizung bei R.-A. 170 etwas schwächer.

Nach : Auf l. Reizung geringe Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 90, die l. Muskeln zucken schon bei R.-A. 160. Auf r. Reizung sehr schwache Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 120.

- 38) Der ganze Seitenstrang durchschnitten. Hinterstrang und Vorderstrang sind erhalten.

Vor : Auf l. Reizung Zuckung beider r. Muskeln bei R.-A. 175, auf r. Reizung bei R.-A. 125.

Nach : Auf l. Reizung auch bei vollständig übereinander geschobenen Rollen keine Zuckung der r. Muskeln; die l. Muskeln zucken bei viel schwächeren Strömen. Auf r. Reizung dasselbe Resultat.

Die gekreuzte Leitung für die beiden Extensoren.

In Bezug auf die gekreuzte Leitung für die beiden beobachteten Extensoren ergeben die angeführten Protocolle, daß dieselbe in der obersten nahe der Medulla oblongata gelegenen Markstrecke hinsichtlich ihrer Lage sich anders verhält, als im übrigen Halsmark.

In den Versuchen 8 und 9, in welchen der Vorder- und Seitenstrang erhalten, der Hinterstrang aber dicht unter der Spitze der Schreibfeder, und in den Versuchen 10 und 11, in welchen derselbe Strang c. 1 mm tiefer getrennt war, zeigte sich vor und nach der Durchschneidung im

Reizungsergebnis kein Unterschied; im folgenden Versuche, in welchem die gleiche Marktrennung ebenfalls c. 1 mm unter dem Calamus scriptorius stattgefunden hatte, verlangte die Zuckung eine nur geringe Rollenverschiebung. Daraus läßt sich schließen, daß in diesen Höhen die Leitung sich nicht des Hinterstranges bedient.

Man kann aber hier oben noch einen viel ausgedehnteren Theil der Markhälfte ausschalten, ohne daß die Leitung wesentlich behindert wird. In Versuch 13 und 14 ist außer dem Hinterstrang auch der größte Theil des Seitenstranges getrennt, und doch zeigt sich in dem ersteren dieser Versuche bei fast unveränderter Stromstärke eine Zuckung beider Muskeln, die bei stärkerer Reizung wächst; wogegen das im anderen Versuche erhaltene ungünstigere Resultat nicht in's Gewicht fällt. In den Versuchen 15 bis 18 ist außer dem ganz oder zum größten Theile getrennten Hinterstrang der Seitenstrang vollständig durchschnitten. Dennoch erfolgt in den meisten derselben die Zuckung ebenfalls schon bei geringer Stromverstärkung, in einem sogar bei derselben Stromstärke wie vor der Durchschneidung. Ein vollständiges Ausbleiben der Contraction, was, wie oben gezeigt wurde, die Regel ist, wenn an diesen Markstellen eine vollständige Hemisection gesetzt wird, zeigte sich niemals; und auch sehr große Ströme waren zur Hervorrufung der Zuckung in keinem dieser Versuche nothwendig. Es kann deßwegen in diesen Höhen des Halsmarkes die Leitung auch nicht in dem Seitenstrang liegen, sondern sie muß in dem allein noch übrigbleibenden Vorderstrang gesucht werden.

Zieht man auch den Vorderstrang in die Durchschneidung hinein, sodaß von der ganzen Markhälfte nur noch Theile dieses Stranges in Continuität sind, wie es in den Versuchen 19 bis 22 geschehen ist, so werden in den meisten Fällen zur Zuckungsauslösung größere Stromverstärkungen nöthig. Man kann aber auch auf Resultate stoßen, in denen die Leitung auffallend wenig erschwert erscheint; dies zeigt Ver-

such 21, bei welchem höchstens die innere Hälfte des Vorderstranges noch erhalten ist. Ueber die sich hieran anschließende Frage, in welchen Theilen des Vorderstrangquerschnittes die Leitung liegt, oder ob sie den ganzen Vorderstrang gleichmälsig einnimmt, darüber läst sich aus den angeführten Versuchen partieller Vorderstrangdurchschneidung nichts Siceres schliessen; nur das sagen sie aus, daß auch bei alleiniger Erhaltung von inneren Vorderstrangtheilen in diesen Markhöhen die Leitung nicht aufgehoben zu sein braucht.

Es wäre wünschenswerth gewesen, den oben besprochenen Versuchen zur Controlirung solche mit alleiniger Durchschneidung eines Vorderstranges hinzuzufügen. Diese Operation ist am obersten Ende des Halsmarkes, hauptsächlich wegen der vielen sich entgegenstellenden venösen Gefäße, sehr schwierig auszuführen. Schiff¹⁾ giebt Methoden an, nach denen er die isolirte Durchschneidung beider Vorderstränge unternommen hat, doch nur in kaum einem Zehnthel der Fälle mit glücklichem Erfolg. Ich habe mich vorerst mit den obigen Versuchen begnügen müssen.

Für die Höhe des Atlas habe ich keine Versuche vorgenommen. Aber vom Epistropheus bis zum vierten Halswirbel wurden zum Theil innerhalb der Wirbel selbst, zum Theil zwischen zwei Wirbeln verschiedenartige Durchschneidungen gemacht, wenn auch nicht in der Vollständigkeit, daß ich für jeden Strang in jeder in Angriff genommenen Markhöhe eine isolirte Durchschneidung aufweisen kann.

Die alleinige Durchschneidung des Hinterstranges ist auf dieser Markstrecke ganz aufser Acht gelassen worden; es ergab sich aber, daß, wenn derselbe bei der Section anderer Stränge mitdurchschnitten wurde oder erhalten blieb, dies auf die Leitung keinen Einfluß ausübte.

¹⁾ J. M. Schiff. Lehrbuch der Physiologie des Menschen. I. Muskel- und Nervenphysiologie. Lahr. 1858—59. S. 305.

Für den Vorderstrang sind zwischen dem zweiten und dritten, sowie zwischen dem dritten und vierten Halswirbel einfache Stichverletzungen — Versuch 23 —, partielle — Versuch 24 und 25 — und auch vollständige Trennung — Versuch 26 — zu verzeichnen, wobei in einigen Fällen auch der Vorderstrang der anderen Seite lädirt wurde. Es gelingt bei Weitem nicht, jeden Versuch dieser Art zu glücklichem Ende zu führen, oft geht das Thier im Laufe des Versuches an Verblutung zu Grunde. Aber auch, wenn die Operation günstig ausgeht, ist das Resultat der Durchschneidung nicht immer dasjenige, welches beabsichtigt war. In allen meinen Fällen von Vorderstrangdurchschneidung aber, mochten nur geringe Theile oder der ganze Strang getroffen sein, zeigte sich eine deutliche Zuckung, ohne daß nennenswerthe Stromverstärkung nöthig war. Es muß deshalb für die angegebenen Markhöhen der Vorderstrang von der Beherbergung der Leitung für die beiden Extensoren ausgeschlossen werden.

Den Seitenstrang habe ich vom zweiten bis zum vierten Wirbel, sowohl innerhalb der Wirbelhöhen, wie auch innerhalb der Zwischenräume, mit oder ohne Erhaltung des Hinterstranges durchschnitten, und zwar in seiner vorderen oder hinteren Partie, oder mit Erhaltung nur medialer Theile, oder auch in seiner Totalität. Im letzteren Falle, bei vollständiger Trennung, ließ sich eine Zuckung überhaupt nicht mehr hervorrufen. Aber auch, wenn dieser Strang nur theilweise durchschnitten wurde, bedurfte es, gleichviel, wie ausgedehnt die Durchschneidung gesetzt war, zur Auslösung einer Zuckung stets größerer bis maximaler Stromverstärkung, und immer war die schließlich auftretende Zuckung sehr schwach, oder träge und langsam. Um eine Uebersicht hierüber zu geben, stelle ich das aus den zugehörigen Versuchen hier Interessirende in folgender Tabelle zusammen :

Ver- such	Durchschnittene Theile	Wirbelhöhe	Die Muskeln zuckten	
			vor dem Schnitt bei R.-A.	nach dem Schnitt bei R.-A.
27.	Der Hinterstrang zum Theil, der größte anliegende Theil des Seitenstranges durchschnitten, von letzterem steht nur noch die innerste, sowie eine sehr kleine dem Vorderstrang anliegende Partie	2	170	120 sehr träge.
28.	Der Hinterstrang zum Theil, der ganze Seitenstrang bis auf eine sehr kleine dem Vorderstrang anliegende Partie durchschnitten	2	180	nicht bei 40.
29.	Hinterstrang und hinterer kleinerer Theil des Seitenstranges durchschnitten	2/3	200	80 schwach.
30.	Hinterstrang und hinterer kleinerer Theil des Seitenstranges durchschnitten	3	150	70 Spuren.
31.	Hinterstrang und hinterer kleinerer Theil des Seitenstranges durchschnitten	3	170	50 schwach.
32.	Hinterstrang und hinterer kleinerer Theil des Seitenstranges durchschnitten	3	185	30 minimal.
33.	Hinterstrang und hinterer kleinerer Theil des Seitenstranges durchschnitten	3	140	60 ext. dig. schwach.
34.	Seitliche Theile von Hinter- und Vorderstrang, der ganze Seitenstrang bis auf die innerste, zwischen den Hörnern liegende Partie durchschnitten	3	195	70 sehr träge.
35.	Vorderer Theil des Seitenstranges durchschnitten	3/4	165	110 ext. dig. minimal.
36.	Hintere Hälfte des Seitenstranges und geringer angrenzender Theil des Hinterstranges durchschnitten	4	185	80 sehr gering.
37.	Der ganze Seitenstrang mit Ausnahme einer kleinen vorderen und der innersten Partie durchschnitten	4	200	90 schwach.
38.	Der ganze Seitenstrang isolirt durchschnitten	4	175	nicht bei 0.

Es liegen also in dieser unteren, längeren Strecke des Halsmarkes diejenigen Nervenfasern, welche die gekreuzte Leitung für die beiden Extensoren vermitteln, nicht wie am obersten Ende des Markes, im Vorderstrang, sondern sie sind hier im Seitenstrang zu suchen.

Um den Strang selbst auf diese Lage hin zu zergliedern, dazu sind wohl noch gröfsere Versuchsreihen nöthig. Die Vorstellung aber, daß die Leitung für die beiden Muskeln nur durch einige wenige im Seitenstrang hinunterlaufende Fasern unterhalten wird, steht mit den oben mitgetheilten Ergebnissen nicht in Einklang. Denn an welcher Stelle des Querschnittes der Strang auch angegriffen wird, immer bringt der Schnitt eine sehr nennenswerthe Einengung der Leitung hervor, die sich nicht bloß durch die zur Zuckungsauslösung nothwendige grofse Stromverstärkung, sondern auch durch die verminderte Qualität der Zuckung kund giebt; den relativ geringsten Einfluß schien bei meinen Versuchen die Durchschneidung der vordern, an den Vorderstrang grenzenden Partie des Seitenstranges zu haben. Im Allgemeinen aber muß nach den Ergebnissen partieller Seitenstrangdurchschneidungen die Vorstellung Platz greifen, daß Fasern, welche die Leitung für beide Muskeln besorgen, auf dem Querschnitte des Seitenstranges überall zerstreut liegen. Und ohne eine weitere Vergleichung anzustellen, erinnere ich hier an eine Bemerkung Mayser's¹⁾, der, sich stützend auf die Beobachtung der secundären Degeneration der von den Pyramiden in den Seitenstrang des Kaninchenmarkes ziehenden Fasern, sagt: „Es hat den Anschein, als ob hier die Fasern im Seitenstrang zerfahren, wie die Strahlen eines Sprühregens.“

Aber es mag schon sein, daß nicht alle Theile des Seitenstrangquerschnittes in Hinsicht dieser Leitung gleichwerthig sind, und daß sich außer-

¹⁾ P. Mayser. Experimenteller Beitrag zur Kenntniß des Baues des Kaninchen-Rückenmarks. Archiv für Psychiatrie etc. VII. Bd. Berlin 1877. S. 552.

dem die untersten Strecken des Stranges hierin anders verhalten, als weiter oben gelegene. Ich glaube für Letzteres auch Andeutungen zu haben; aber bei dem vorwiegend negativen Charakter der Resultate von Seitenstrangverletzungen ist in der Interpretation große Vorsicht nöthig. Neue größere, speciell auf diesen Punkt hin gerichtete Versuchsreihen werden hierüber vielleicht Sicheres ermitteln.

Es wäre nun von Interesse, die oben erhaltenen Resultate der gekreuzten Leitung der electricen Erregung mit den Ergebnissen der Beobachtung der willkürlichen Bewegung nach Markdurchschneidungen zu vergleichen. Versuche der letzteren Art sind bekanntlich in größerer Anzahl vorhanden; aber die Vergleichung ist unfruchtbar, weil jene Versuche den von mir unternommenen nicht bloß in Hinsicht der electric-motorischen, resp. willkürlichen Bahnen, sondern auch in Anderem nicht adäquat sind. Entweder sind sie bei anderen Thieren oder an tieferen Markstellen gemacht worden, oder sie bestehen aus vollständigen Halbierungen des Markes, oder wieder beziehen sich die Beobachtungen nicht auf die Bewegung einzelner Muskeln oder wenigstens einer Extremität, sondern auf die der ganzen Körperhälfte u. A. Für das Halsmark sind nur mehr ältere Versuche zu nennen; so die von Brown-Séguard¹⁾ an Meerschweinchen und von v. Bezold²⁾ an Tauben, Kaninchen, Meerschweinchen, Katzen und Hunden; aber alle diese Versuche bestanden in vollständigen Hemisectionen. Schiff³⁾ hat an Kaninchen und Hunden

¹⁾ Brown-Séguard. De la conservation partielle des mouvements volontaires, après la section transversale d'une moitié latérale de la moelle épinière. Comptes rendus des séances de la Société de biologie. T. II. année 1850. Paris 1851. S. 195.

²⁾ A. v. Bezold. Ueber die gekreuzten Wirkungen des Rückenmarkes. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. Von v. Siebold und Kölliker. Bd. IX. Leipzig 1858. S. 307.

³⁾ J. M. Schiff. Lehrbuch der Muskel- und Nervenphysiologie etc. S. 307.

zwischen dem ersten und vierten Halsnerven den Vorderstrang oder den Seitenstrang einer Seite isolirt durchschnitten; er erhielt nach der Section des Vorderstranges vollständige Hemiplegie, nach der Section des Seitenstranges grofse Schwächung der Glieder der verletzten Seite; nach einiger Zeit stellte sich aber die Beweglichkeit wieder her.

Neuere Durchschneidungen einzelner Markstränge sind hauptsächlich vorgenommen worden von Woroschiloff¹⁾, der sogleich nach der Operation die willkürlichen Bewegungen studirte, sowie von Weifs²⁾, Osawa³⁾, Kusmin⁴⁾ und in jüngster Zeit von Borgherini⁵⁾, welche alle am überlebenden Thiere beobachteten. Aber sie operirten an anderen Stellen, nämlich fast ausschließlich am unteren Theile des Brust- oder am oberen des Lendenmarkes, und zwar beim Hunde, mit Ausnahme von Woroschiloff, der am Kaninchen arbeitete. Der letztere fand, daß die willkürlich-motorischen Bahnen für die Hinterextremität des Kaninchens im unteren Brust- und oberen Lendenmarke nur im Seitenstrang verlaufen.

Es wird lohnend sein, die Leitung für die electriche Erregung der Hinterextremität in der Weise, in welcher es hier für die Vorderextremität versucht worden ist, auf ihrem ganzen Verlaufe durch das Rückenmark zu studiren. Dies wird am vortheilhaftesten beim Hunde ge-

¹⁾ l. c.

²⁾ l. c.

³⁾ Kenge Osawa. Untersuchungen über die Leitungsbahnen im Rückenmark des Hundes. Inaugural-Diss. Straßburg 1882.

⁴⁾ W. Kusmin. Experimentelle Untersuchungen über die Leitungsbahnen im Rückenmark des Hundes. Medicinische Jahrbücher. Von E. Albert u. E. Ludwig. Jahrgang 1882. S. 355.

⁵⁾ A. Borgherini. Beiträge zur Kenntniß der Leitungsbahnen im Rückenmarke. Mittheilungen aus dem Institute für allgemeine und experimentelle Pathologie der Wiener Universität. I. Wien 1886.

schehen, der sich besser dazu eignet, als das Kaninchen, weil er ein gutes Rindenfeld für die hintere Extremität besitzt.

Die gleichseitige Leitung für die beiden Extensoren.

Daß man bei Reizung eines motorischen Rindenfeldes auch mit schwachen Strömen nicht nur Bewegungen in Muskeln der entgegengesetzten, sondern auch in solchen derselben Seite erhält, ist schon von Hitzig¹⁾ bemerkt und später gewiß von vielen anderen Untersuchern gesehen worden. Doch scheint man auf diese Beobachtungen längere Zeit kein besonderes Gewicht gelegt zu haben, wahrscheinlich deshalb, weil die Lehre von der totalen physiologischen Kreuzung innerhalb des verlängerten Markes festzustehen schien, und weil für die frappante Erscheinung der gleichseitigen Muskelerregung die Erklärung sehr nahe lag, daß man es mit Stromschleifen zu thun habe, die von dem gereizten Rindenfeld auf das der anderen Seite übergreifen und von hier aus die sogenannten gleichseitigen Bewegungen, die dann doch wieder gekreuzte wären, auslösen.

Genauer untersucht wurde diese Erscheinung später hauptsächlich von Franck und Pitres und von Exner, deren Studien werthvolle und zum Theil überraschende Resultate geliefert haben.

Auch bei den hier besprochenen Versuchen wurde die Gelegenheit nicht außer Acht gelassen, ebenfalls über die gleichseitige Leitung Erfahrungen zu sammeln. Die einzelnen hierauf bezüglichen Beobachtungen finden sich in den oben mitgetheilten Protokollen.

Fast in allen Fällen zeigte sich, in Uebereinstimmung mit den Resultaten die Franck und Pitres²⁾ für den extensor digitorum communis

¹⁾ l. c. S. 48 und 134.

²⁾ Fr. Franck et A. Pitres. *Recherches expérimentales et critiques sur*

des Hundes erhalten haben, daß bei intactem Mark die Muskeln derselben Seite einer etwas größeren Stromstärke bedürfen, um zur Contraction zu gelangen, als die gleichen Muskeln der gekreuzten Seite. Und zwar ist es dabei gleichgiltig, ob von einem Rindenfeld aus die beiderseitigen Muskeln erregt werden ¹⁾, oder ob die Muskeln einer Seite von beiden Rindenfeldern aus zur Contraction gebracht werden ²⁾. Uebrigens lassen sich auch nicht immer von den Rindenfeldern beider Seiten durch gleich schwache Ströme gekreuzte Wirkungen auslösen ³⁾, was sich wohl am einfachsten aus der verschiedenen Erregbarkeit der Rindenfelder selbst erklärt, die entweder an sich vorhanden ist, oder durch äußere Verhältnisse nach der Blosslegung gesetzt wird. Eine Beobachtung, wie die oben von Couty mitgetheilte, in welchen bei Kaninchen von einem Rindenfeld aus die gekreuzten Muskeln nicht isolirt erregt, sondern nur bilaterale Bewegungen erzielt werden konnten, habe ich nur ein Mal gemacht: In Versuch 35 begannen die beiderseitigen Extensoren auf Reizung des linken Rindenfeldes bei gleichem Rollenabstand zu zucken, auf Reizung des rechten Rindenfeldes aber zuckten die gekreuzten Extensoren früher. In Versuch 26, welcher der einzige ist, in dem die Muskeln einer Seite, von beiden Rindenfeldern aus, zur Zuckung gleiche Stromstärken brauchten, muß hierzu wohl die wahrscheinlich eingetretene Erregbarkeitsverminderung der Hirnoberfläche in Anrechnung kommen.

Auf eine etwaige Verschiedenheit in der Qualität der gekreuzten und der gleichseitigen Zuckung habe ich nicht immer aufgemerkt; wenn ich aber darauf achtete, erschien mir die gleichseitige Zuckung als die schwächere.

l'excitabilité des hémisphères cérébraux. Archives de Physiologie normale et pathologique. III. Série. Tome V. Paris 1885. S. 35 u. 49.

¹⁾ Versuch 2, 4, 5, 19, 22, 35.

²⁾ Versuch 4, 5, 7, 10, 12, 25, 30—38.

³⁾ Versuch 14, 28, 35.

Außerdem geht aus den Versuchen Einiges über die folgenden beiden Fragen hervor :

1. Zur Frage des Weges, auf welchem die Leitung der electricischen Erregung des motorischen Rindenfeldes zu der gleichseitigen Rückenmarkshälfte gelangt.

Daß für das Kaninchen die Ursache der gleichseitigen Bewegung weder in Stromschleifen besteht, die von dem gereizten Rindenfeld zu dem der anderen Hemisphäre hinüberreichen, noch in der Leitung durch die Commissurenfasern, welche die beiden Hemisphären mit einander verbinden, hat Exner¹⁾ gezeigt. Wenn er den Balken in der Medianebene durchschnitt oder sogar die ganze Convexität der nicht gereizten Hemisphäre abtrug, so blieb doch die Bewegung der gleichseitigen Extremität bestehen. Für den Hund haben Franck und Pitres²⁾ ebenfalls durch Section des Balkens und auch durch Abtragung des nicht gereizten Rindenfeldes dasselbe gefunden; außerdem zeigten sie noch, daß auch nach sagittaler Durchschneidung der Brücke bei diesem Thier die Erscheinung bestehen bleibt.

Für die Annahme, daß außer den Leitungsfasern, welche auf die andere Seite ziehen, auch solche vorhanden sind, die, auf derselben Seite verbleibend, in die dem gereizten Rindenfeld gleichnamige Rückenmarkshälfte übergehen, sind directe Experimente, etwa Längstheilung der Medulla oblongata, meines Wissens nicht gemacht worden. Franck und Pitres führen gegen diese Annahme an, daß nach Verletzungen einer

¹⁾ l. c. S. 136.

²⁾ Fr. Franck et A. Pitres. Recherches expérimentales et critiques sur l'excitabilité etc. S. 38; und Dieselben: Recherches graphiques sur les mouvements simples et sur les convulsions etc. Travaux du Laboratoire de M. Marey. Paris 1880. S. 434.

Hemisphäre beim Hunde die secundäre Degeneration in der gleichnamigen Rückenmarkshälfte nur sehr ausnahmsweise sich nachweisen läßt, während sie in der anderen sehr deutlich ist, sodaß die vollständige anatomische Pyramidenkreuzung bei diesem Thier die Regel zu sein scheint. Einen anderen gewichtigeren, weil auf Versuche gestützten Einwurf, der auch zugleich für die andere Möglichkeit spricht, daß nämlich in der Medulla oblongata oder im Rückenmark oder in beiden zugleich motorische Verbindungscentren vorhanden seien, in denen die schon gekreuzte Leitung theilweise wieder auf die andere Seite zurückgeführt wird, machen die beiden Forscher in Folgendem. Sie berechneten beim Hunde die Zeit, welche die electriche Erregung braucht, um von einem Rindenfeld zu den Muskeln der Vorderextremität der gekreuzten und der gleichen Seite geleitet zu werden. Sie fanden ¹⁾, daß auf dieselbe Reizung hin die Muskeln der entgegengesetzten Seite um einen meßbaren Zeittheil früher sich contrahiren, als die der gleichen Seite. Diese Thatsache, sagen sie, spricht ebenso sehr gegen die eine wie für die andere Annahme. Der Zeitverlust der gleichseitigen Leitung würde unerklärlich sein, wenn directe Bahnen vom Rindenfeld zu der gleichseitigen Extremität gingen; er sei aber leicht zu erklären im anderen Falle, als hervorgerufen durch die verschiedene Länge des Weges beider Leitungen.

Zur Stütze der Annahme von Franck und Pitres führt Lewaschew ²⁾ Resultate von Durchschneidungsversuchen an, die er bei Hunden angestellt hat. Er durchschnitt das Mark in der ganzen linken Hälfte in der Höhe des elften oder des zwölften Brustwirbels, sodaß für die Erregungsleitung vom Vorder- zum Hinterkörper nur die rechte Rücken-

¹⁾ Fr. Franck et A. Pitres. l. c. Archiv. de Physiol. etc. III. Sér. Tome V. S. 35; u. Travaux etc. S. 433.

²⁾ l. c. S. 283.

markshälfte übrig blieb; reizte er dann die Hinterbeinregion der linken Hemisphäre, so erhielt er dieselben Bewegungen in *beiden* Hinterbeinen, wie bei intactem Marke; und zwar rechts coordinirte Stampfbewegungen, links tetanische Streckung; es mußte also die Leitung, um die Muskeln des linken Hinterbeines erreichen zu können, zuerst gekreuzt in der rechten Markhälfte verlaufen und dann unterhalb des Schnittes auf die linke Markhälfte übertreten. Reizte er andererseits das (r.) Rindenfeld für die linke Hinterextremität, so blieb das linke Hinterbein in Ruhe, während das rechte reagierte. Und Lewaschew nimmt dafür, im Hinblick auf das Vorhergehende, die Erklärung an, daß auch hier ein Uebertritt der Leitung, und zwar oberhalb der Schnittstelle, stattgefunden haben *müsse*. Wurde die halbseitige Durchschneidung in die Höhe des zweiten Halswirbels verlegt, so ergaben sich dieselben Reizungsergebnisse, sodaß also innerhalb des Rückenmarkes der Uebertritt auf die andere Seite in jeder Höhe erfolgen könne.

Lewaschew scheint mit relativ starken Strömen gearbeitet zu haben; und aus dem ersten Theil seines Versuches ergibt sich unzweifelhaft, daß ein Uebertritt der Leitung von der gekreuzten auf die gleichnamige Seite des Markes unterhalb der Schnittstelle stattgefunden hat; es wird aber in demselben nicht widerlegt, daß nicht auch die Erregung, und zwar selbst bei schwachen Strömen, auf der gleichnamigen Seite fortgeleitet wird. Und deshalb kann auch für den zweiten Theil seines Versuches die gleichnamige Seite von der Beherbergung der Leitung wohl nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Uebrigens gelingt es, wie Lewaschew selbst bemerkt, bei sehr starker Reizung sogar bisweilen, die Hinterextremität der hemisecirten Seite von ihrem eigenen Rindenfeld aus in Bewegung zu setzen, wozu sogar ein mehrmaliger Uebertritt von der einen auf die andere Seite nothwendig wäre.

Wie es sich damit aber auch beim Hunde verhalten mag, für die

beiden Extensoren der Vorderextremität des Kaninchens ergaben meine Versuche andere Resultate.

Wenn man bei diesem Thier eine Markhälfte so durchschneidet, daß auf Reizung des gegenüberliegenden Rindenfeldes eine Contraction der beiden Extensoren der lädirten Seite nicht mehr erfolgt, so löst auch die Reizung des gleichnamigen Feldes in diesen Muskeln *keine* Contraction aus, dagegen reagiren die Muskeln der intacten Seite auf entgegengesetzte und auf gleichseitige Reizung; von Zufälligkeiten, die durch maximale Ströme hervorgerufen werden, muß dabei abgesehen werden. Ein Beispiel liefert folgender Versuch, der, weil die Schnittgrenze nicht ganz genau zu bestimmen war, in den Protokollen nicht aufgenommen ist; jedenfalls war aber die linke Markhälfte von dem Schnitt vollständig unberührt.

- 39) Durchschneidung fast der ganzen rechten Markhälfte in der Höhe des dritten Halswirbels.

Vor der Durchschneidung :

Auf l. Reizung zucken beide r. Muskeln bei R.-A. 160, auch Flexoren zucken.

Auf r. Reizung zucken beide r. Muskeln bei R.-A. 110, die l. Muskeln schon bei geringeren Strömen.

Nach der Durchschneidung :

Auf l. Reizung zucken die beiden r. Muskeln auch bei aufeinander geschobenen Rollen nicht, die l. Muskeln bei viel schwächeren Strömen.

Auf r. Reizung dasselbe Resultat.

In diesem Versuche ist die Leitung von der rechten Hirnhemisphäre nicht, nachdem sie die linke Markhälfte erreicht hat, unterhalb des Schnittes wieder auf die andere Seite zurückgetreten; es hätte sonst nach der Durchschneidung rechtsseitige Reizung auch rechtsseitige Contraction bei noch schwachen Strömen ergeben müssen. Für die Höhe des vierten Wirbels zeigt Versuch 38 (siehe auch die folgende Tabelle) dasselbe Ergebnis;

und auch bei Durchschneidungen in der Höhe der Membrana obturatoria ist das Resultat kein anderes, wie aus den Versuchen 4 und 5 ersichtlich ist.

Es muß also beim Kaninchen für die gleichseitige Leitung entweder directe Wege von dem Rindenfeld einer Seite zu der gleichen Markhälfte geben; oder die Leitung muß, während sie in den nach der entgegengesetzten Seite strebenden Wegen verläuft, schon innerhalb des verlängerten Markes, spätestens an der Kreuzungsstelle, Gelegenheit finden, auf die gleichnamige Markhälfte zurückzugehen. Mit Versuchen oberhalb des noch geschlossenen Markes habe ich mich aber nicht beschäftigt.

Anzuführen wäre hier noch Einiges, was Neisser¹⁾ beobachtet hat. Bei seinen Untersuchungen über die electrische Erregbarkeit der verschiedenen Schichten der Hirnrinde des Kaninchens fand er für gewöhnlich, daß zuerst die gekreuzte, und später und schwächer die gleichseitige Vorderpfote zuckte. In einem seiner Versuche, in welchem bei rechtsseitiger Reizung die gekreuzte Wirkung constatirt worden war, wurde durch das rechte Rindenfeld hindurch ein Sagittalschnitt gelegt, der eine starke Blutung zur Folge hatte. Jetzt ergaben selbst stärkere Ströme kein Resultat an der gekreuzten Pfote. Bei Reizung des linken Rindenfeldes aber mit verschiedenen Stromstärken zeigten sich nur Bewegungen der linken Vorderpfote, während die rechte vollständig in Ruhe blieb. In einem anderen Versuch erhielt Neisser, nach der gleichen Operation auf der einen Seite, von der andern Hemisphäre aus die gleichseitige Zuckung bei schwächeren Strömen als die gekreuzte. Niemals traten solche Erscheinungen bei intactem Gehirn auf.

¹⁾ l. c. S. 40 und E. Asch und A. Neisser, l. c. S. 204.

2. Zur Lage der Wege für die gleichseitige Leitung innerhalb der gleichen Rückenmarkshälfte.

Diejenigen Versuche, bei denen nach der Durchschneidung auf der Verletzungsseite Contractionen noch hervorzurufen waren, ergaben auch Anhaltspunkte dafür, wie sich die Lage der gleichseitigen Leitungswege zu denen der gekreuzten für dieselben Muskeln innerhalb des Halsmarkes verhält.

Das in den Protokollen darüber Enthaltene ist kurz zusammengestellt Folgendes :

Die rechten Muskeln zuckten					
in Versuch	Schnitthöhe	vor der Durchschneidung		nach der Durchschneidung	
		auf l. Reizung bei R.-A.	auf r. Reizung bei R.-A.	auf l. Reizung bei R.-A.	auf r. Reizung bei R.-A.
4.	Membrana obturatoria	180	180	0 minimal	nicht bei 0.
5.		170	160	nicht bei 0	nicht bei 0.
7.		180	150	70 schwach	70 dig. schwach.
10.		205	150	205	150.
12.		170	145	155	120.
14.	$\frac{2}{3}$. Wirbel	160	?	100 dig. leise	100 leise.
25.		175	125	165	125.
26.		130	130	120	120.
30.		150	120	70 Spuren	80 Spuren.
31.		170	160	50 schwach	40 schwach.
32.	3. Wirbel	185	150	30 gering	70 gering.
33.		140	120	60 dig. schwach	70 dig. schwach.
34.		195	170	70 träge	70 träge.
35.		165 dig.	130 dig.	110 dig. minimal	110 dig. minimal.
36.		185	110	80 gering	100 dig. gering.
37.	4. Wirbel	200	170	90 gering	120 schwach.
38.		175	125	nicht bei 0	nicht bei 0.

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich, daß beide Leitungen für dieselben Muskeln während ihres Verlaufes im Rückenmarke wenigstens sehr nahe bei einander liegen.

Denn wenn durch den Schnitt die gekreuzte Leitung gar nicht oder fast gar nicht behindert ist, so hat auch die gleichseitige keine Einbuße erlitten. Und werden zur Hervorrufung von Contractionen nur wenig stärkere Erregungen des entgegengesetzten Rindenfeldes nothwendig, so können gewöhnlich auch nur durch etwas stärkere Ströme von dem gleichseitigen Rindenfeld aus Contractionen in denselben Muskeln ausgelöst werden. Erfordert aber die gekreuzte Leitung verhältnißmäßig sehr starke Ströme, so ist dasselbe auch für die gleichseitige Leitung der Fall.

Für eine Abhängigkeit der beiden Leitungen von einander spricht die oft von mir beobachtete gleiche Qualität der Zuckung nach der Durchschneidung. Ist der Werth der Contraction nach der Durchschneidung auf gekreuzte Reizung nicht verschieden von dem vor der Durchschneidung beobachteten, so verhält er sich ebenso bei gleichseitiger Reizung. Ist die Zuckung auf gekreuzte Reizung nur schwach, oder ist sie deutlich erkennbar, aber sehr langsam und träge, so zeigt sie gewöhnlich auch auf gleichseitige Reizung dasselbe Bild. In einigen Versuchen schien nach der Durchschneidung die gleichseitige Leitung sich in etwas günstigeren Verhältnissen zu befinden, als die gekreuzte. Dies zeigte sich dadurch, daß auf gleichseitige Reizung die beiden Muskeln bei etwas weniger starken Strömen zu zucken begannen, als auf gekreuzte Reizung, oder dadurch, daß auf die erstere hin beide Muskeln zuckten, auf die letztere nur einer von ihnen. Es war dann aber der Unterschied der zur Contraction nothwendigen Stromstärken sehr gering, und die Contractionen auslösenden Ströme sind bei den in Rede stehenden Fällen alle von relativ sehr großer Stärke. Jedenfalls sah ich niemals, daß, wenn die Leitung der gekreuzten Erregung durch den Schnitt keine oder nur geringe Ein-

buse erlitten hatte, die der gleichseitigen Erregung aufgehoben war oder auch nur schwerer gelitten hatte, und umgekehrt.

Es kann deshalb wohl mit Recht angenommen werden, daß für die musculi extensor digitorum communis und extensor carpi internus des Kaninchens die Leitung der gekreuzten und die der gleichseitigen Erregung innerhalb des Halsmarkes nicht nur in derselben Markhälfte verlaufen, sondern daß beide auch während dieses Verlaufes eng mit einander verknüpft sind.

Schließlich noch einige Worte über

die Wege der Leitung für andere Muskeln der Vorderextremität.

Neben den Contractionen der beiden Extensoren habe ich gelegentlich auch diejenigen anderer Muskeln der Vorderextremität nach der Durchschneidung beobachtet und gefunden, daß, wenn jene nur noch mit starken Strömen zur Erregung zu bringen sind, andere schon bei viel schwächeren ansprechen. Ganz besonders gilt dies für die Flexoren. So konnten in Versuch 19 die gekreuzten Extensoren auch bei R.-A. 80 nach der Durchschneidung nicht erregt werden, die Flexoren aber deutlich schon bei R.-A. 120; in Versuch 32 gaben die gekreuzten Extensoren erst bei R.-A. 30 eine minimale Zuckung, die Flexoren zuckten bei viel geringerer Stromstärke; ein ähnliches Resultat giebt Versuch 33; und schließlich zeigt Versuch 35 bei R.-A. 110 eine minimale Zuckung im rechten ext. dig. comm. auf rechts- und linksseitige Reizung, und diese Zuckung wird bei Stromverstärkung nicht größer, die rechten Flexoren zuckten aber stark auf beiderseitige Reizung bei R.-A. 110, und ihre Contraction nahm mit der Stromstärke zu. Vielleicht sind diese Beobachtungen Andeutungen dafür, daß die Nervenfasern, welche die Leitung für die beiden Muskelgruppen innerhalb des Markes besorgen, relativ

weit von einander entfernt resp. auf dem Querschnitt des Markes in anderer Vertheilung liegen.

Die Hauptresultate,

welche aus diesen Untersuchungen sich ergeben, sind kurz zusammengefaßt folgende :

Die Musculi extensor digitorum communis und extensor carpi internus der Vorderextremität des Kaninchens lassen sich für gewöhnlich nicht isolirt erregen, sondern es erfolgt zugleich auch eine Erregung der Flexoren.

Die Innervationswege für die gekreuzte Erregung der beiden Extensoren verlaufen am obersten Ende des Markes in dem Vorderstrang, auf der bei weitem längeren unteren Strecke des Halsmarkes aber im Seitenstrang der dem gereizten Rindenfeld entgegengesetzten Markhälfte, und es scheint, daß sie hier auf dem ganzen Querschnitt des Stranges vertheilt liegen.

Die Wege für die gleichseitige Erregung der beiden Extensoren verlaufen innerhalb des ganzen Halsmarkes auf derselben Seite, auf welcher die Wege für die gekreuzte Erregung derselben Muskeln liegen; und innerhalb dieses Verlaufes sind beide Leitungen sehr eng mit einander verknüpft.

Wird nun zuletzt aus allem Vorhergehenden einen Schluß auf die Anwendbarkeit der geprüften Eckhard'schen Methode gezogen, so ergibt sich, daß dieselbe wohl im Stande ist, bei vorsichtiger Anwendung die Kenntniß von dem Verlauf der motorischen Innervationswege im Rückenmark zu vervollkommen. Freilich kann sie nur die electrisch-motorischen Wege hervorheben, aber es ist nicht zweifelhaft, daß es auch einen Fortschritt bedeutet, wenn über diese sichere Resultate gewonnen werden.

Sie kann, wenn nach ihr in genügender Anzahl und an verschiedenen Stellen des Markes verschiedenartige Durchschneidungsversuche gemacht werden, eine Vorstellung verschaffen von dem Verlauf der motorischen Wege nicht nur für eine Extremität, sondern auch für bestimmte Muskeln derselben durch das ganze Rückenmark hindurch; und dies gilt sowohl für die gekreuzte, wie für die gleichseitige Leitung.

Der Vorzug, daß die Methode gestattet, die Untersuchung auf einzelne Muskeln zu beschränken, giebt der einzelnen Beobachtung eine außerordentliche Sicherheit und Genauigkeit, die noch dadurch erhöht wird, daß die beobachteten Bewegungen auch in ihren Ursachen nicht unklar sind; es können die bei dem morphinisirten Thiere durch electriche Reizung hervorgerufenen Contractionen niemals mit willkürlichen oder reflectorischen verwechselt werden. Diese Einengung der Beobachtung auf einzelne Muskeln macht es außerdem möglich, daß nach dieser Methode auch über die gegenseitige Lage der Innervationswege für verschiedene Muskeln oder Muskelgruppen einer Extremität Anhaltspunkte gewonnen werden.

Alles dies gilt ganz besonders von Versuchen in den oberen Höhen des Halsmarkes, an welchen Stellen Durchschneidungsversuche mit Beobachtung der willkürlichen Bewegungen wegen der allzu geringen Aussicht auf Erfolg nur in geringer Zahl, von neueren Untersuchern gar nicht gemacht worden sind.

Gießen, im August 1887.

~~~~~  
Druck von Wilhelm Keller in Gießen.  
~~~~~


197



Steffahny, Emil

Zur Untersuchungsmethode über die Topographie der motorischen
Innervationswege im Rückenmark der Säugethiere, mit besonderer Rücksicht
auf das Halsmark des Kaninchens ...

Giessen 1887

4 Diss. 5440-6

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11482003-8